

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**Avaliação da qualidade da água do rio Jucu/ES (Brasil),
por meio de parâmetros físico – químicos e biológicos**

**Evaluation of the water quality of the Jucu / ES (Brazil) river, through
physical - chemical and biological parameters**

Taina Turial da Silva

Dissertação de Mestrado em Química

**Vitória
2019**

Taina Turial da Silva

**Avaliação da qualidade da água do rio Jucu/ES (Brasil),
por meio de parâmetros físico – químicos e biológicos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Química

Área de Concentração: Química

Linha de Pesquisa: Elementos traço e Química Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Josimar Ribeiro

**VITÓRIA
2019**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586a Silva, Taina Turial da, 1995-
Avaliação da qualidade da água do rio Jucu/ES (Brasil), por meio de parâmetros físico – químicos e biológicos. / Taina Turial da Silva. - 2019.
127 f. : il.

Orientador: Josimar Ribeiro.
Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Espectrometria. 2. Índice de qualidade da água. 3. Elementos traço. 4. Fitotoxicidade. I. Ribeiro, Josimar. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

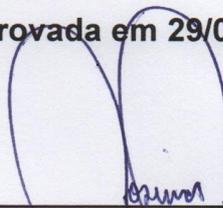
CDU: 54

Avaliação da qualidade da água do rio Jucu/ES, por meio
de parâmetros físico – químicos e biológicos

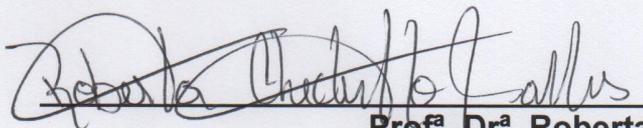
Taina Turial da Silva

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre em Química.

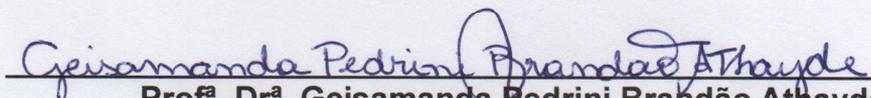
Aprovada em 29/05/2019 por:



Prof. Dr. Josimar Ribeiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof.^a. Dr.^a. Roberta Chechetto Salles
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof.^a. Dr.^a. Geisamanda Pedrini Brandão Athayde
Universidade Federal do Espírito Santo

Dedico este trabalho a minha mãe,
Ana Cristina, por todo amor e dedicação
que teve em minha educação e na minha
formação pessoal. Ao meu namorado
Guilherme, pelo companheirismo e amor
durante todo este tempo. Amo vocês!
E aos meus professores e orientador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu grande amigo, grande pai e Senhor, Deus! Por sempre estar ao meu lado, por todo amor que Ele tem por mim, por me guiar e me ajudar em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador prof. Dr. Josimar Ribeiro, por acreditar em mim, pelos ensinamentos transmitidos, por ter sido meu orientador durante 5 anos da minha vida. O que eu ganho é mais que um professor, mas um amigo. Obrigada pelo seu esforço, e pela oportunidade de tê-lo como meu professor, por me tornar alguém melhor!

A minha mãe, por sempre me apoiar nas minhas escolhas, e por todo amor e carinho que tem por mim, por toda a dedicação na minha criação. Eu te amo!

Ao meu namorado lindo, Guilherme, que durante todo tempo esteve comigo, me apoiando e me ajudando a crescer, por todo amor e paciência que teve comigo durante este tempo.

Aos meus colegas de laboratório, Suelle por ser uma pessoa que sempre esteve me motivando e uma amiga de orações, vou levar você comigo sempre! A Lurdinha, companheira de todos os dias, pelo apoio e carinho que teve por mim durante todo esse tempo. A Juliana, Carol, Vitor, Maria Aparecida, Yonis, Douglas, Francielen e Edvar por toda a força, e apoio para que esse trabalho fosse concluído.

Aos meus amigos, Wesley, Larissa, Zidane, Camila, Mary, Ian, Biga, Thay, Tassi, Ray e Val, por serem vocês, por estar ao meu lado e pela amizade que quero ter para sempre!

Agradeço a UFES, a universidade ao qual me formei e que me deu condições para crescer profissionalmente e socialmente, a Capes, pela bolsa de pesquisa, ao Labpetro, LEA, Tommasi ambiental e ao LabSan por fornecerem os laboratórios para a pesquisa.

A todos os meus professores, sem vocês nada disso seria possível!

A banca deste trabalho, Geisamanda, Fátima, e Roberta, por toda crítica construtiva. Por serem grandes professoras, ao qual eu tenho a honra de ter sido aluna.

“Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.
Josué 1:9

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.	18
Figura 2. Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos... 19	
Figura 3. Curvas médias de variação de qualidade da água utilizadas no IQACETESB.....	22
Figura 4. Esquema da instrumentação do ICP-MS	47
Figura 5. Esquema da instrumentação do ICP OES.	48
Figura 6. Bacia Hidrográfica do Rio Jucu.	52
Figura 7. Mapa das estações do rio Jucu.....	56
Figura 8. Estações de Coletas do rio Jucu.	58
Figura 9. Variação da temperatura para a 1ª campanha e 2ª campanha.	70
Figura 10. Comparação dos resultados do oxigênio dissolvido das estações de coletas com a resolução do CONAMA 357/05, da 1ª campanha e 2ª campanha.	72
Figura 11. Resultados de condutividade elétrica (CE) da 1ª campanha (A) e 2ª campanha (B).....	73
Figura 12. Comparação dos valores de pH com a faixa de limitação de pH do CONAMA 357/05 da 1ªcampanha e 2ª campanha.	74
Figura 13. Comparação dos resultados de turbidez com a legislação CONAMA 357/05, da 1ª campanha e 2ª campanha.	76
Figura 14. Comparação dos valores dos sólidos dissolvidos totais com o limite permitido pelo CONAMA 357/05, da 1ª e 2ª campanha.	77
Figura 15. Comparação dos valores do nitrogênio total com a resolução do CONAMA 357/05, da 1ª a 2ª campanha.....	78
Figura 16. Resultados de DQO e DBO da primeira campanha/2017 (A) e segunda campanha/2018 (B).	80
Figura 17. Resultados dos elementos traço em água da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 357/05.	84
Figura 18. Resultados dos elementos traço em água da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 357/05.	85
Figura 19. Relação dos parâmetros físico-químicos da primeira campanha/2017	

(A) e segunda campanha/2018 (B).	87
Figura 20. Resultados dos elementos traço em sedimento da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 420/09.	89
Figura 21. Resultados dos elementos traço em sedimento da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 420/09.	90
Figura 22. Teor de Matéria orgânica (MO) em % na primeira campanha/2017 e segunda campanha/2018	91
Figura 23. Resultados da análise da germinação (A) e do crescimento radicular (B) em 30 sementes de <i>Lactuca Sativa</i> , expostas em amostras da 1ª e 2ª campanha e em controle positivo e negativo. Teste de Tukey ($p>0,05$). CN: controle negativo e CP: controle positivo.	92
Figura 24. Gráfico dos <i>loadings</i> correspondentes aos parâmetros estudados nas amostras de águas superficiais (PC1 x PC2).	94
Figura 25. Dendrograma obtido para as amostras a partir das distâncias euclidianas normalizadas.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos valores do IQA _{CETESB} em faixas de qualidade.....	23
Tabela 2. Parâmetros e pesos para o cálculo do IQA _{ANSF} e do IQA _{CETESB}	24
Tabela 3. Limites de concentração de prevenção de elementos traço em solo segundo o CONAMA 420/09	37
Tabela 4. Localização das estações monitoradas.....	57
Tabela 5. Pontos da curva de calibração do nitrogênio.	61
Tabela 6. Valor de DBO esperado em relação ao volume de amostra e o fator de escala do Oxitop.....	63
Tabela 7. Pontos da Curva Padrão da DQO.....	64
Tabela 8. Condições operacionais do ICP OES.....	67
Tabela 9. Elementos analisados por ICP OES.....	67
Tabela 10. Condições operacionais do ICP-MS.....	68
Tabela 11. Resultados para <i>E. Coli.</i> das amostras da 2ª Campanha e sua classificação de acordo com a CONAMA 274/2000	81
Tabela 12. Índice de qualidade de água CETESB e a Classificação das águas do rio Jucu da 1ª e 2ª campanha.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGERH – Agência De Recursos Hídricos
CE – Condutividade Elétrica
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CR – Crescimento Radicular
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EPA – Agência de proteção ambiental (*Environmental Protection Agency*)
FAAS – Espectroscopia de absorção atômica de chama
g – gramas
GE – germinação
HCA – Agrupamento hierárquico de Cluster
ICP-MS – Espectrometria de massa por plasma indutivamente acoplado
ICP OES – Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado
IQA – índice de qualidade da água
L – Litro
LD – limite de detecção
LQ – limite de quantificação
 μg – microgramas
 μm – micrometros
mg – miligramas
ng – nanogramas
NMP – número mais provável
NSF – Fundação nacional de saneamento (*National Sanitation Foundation*)
NTK – nitrogênio total Kjeldahl
OD – oxigênio dissolvido
PCA – Análise de componentes principais
RSD – desvio padrão relativo
s – segundos
SDT – sólidos dissolvidos totais
SST – sólidos suspensos totais

ST – sólidos totais

SV – sólidos voláteis

Temp. – Temperatura

UNT – Unidades nefelométricas de turbidez

UTM – Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

°C – graus celsius

‰ – por mil

ν – ni

λ – lambda

% – por cento

RESUMO

O rio Jucu é um dos principais rios do estado do Espírito Santo (Brasil), por abastecer 25% de toda a população e por ser essencial para a sociedade. As condições das águas do rio foram estudadas por meio das análises de parâmetros físico-químicos, microbiológico e biológico, tais como: temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio total, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, elementos traço e efeito fitotóxico usando *Lactuca Sativa* como bioindicador. Em água e em sedimento do rio foram analisados a presença dos elementos traço Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Pb e Co. Os resultados das águas superficiais foram comparados com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/05, e os sedimentos com a resolução do CONAMA nº 420/09. Com a aplicação do índice de qualidade da água (IQA), o estudo mostrou que na segunda campanha a poluição das águas aumentaram devido às chuvas, deixando o rio com mais contaminantes. Além disso, foi possível observar que as estações JUC01, JUC05 e JUC06 sofrem mais com as ações antrópicas, devido à alta presença de *Escherichia coli*, que está relacionada à contaminação fecal. A quimiometria foi utilizada para encontrar similaridades entre as estações analisadas, os resultados mostraram formações de agrupamentos das estações de coleta, fazendo separações entre as águas boas e regulares. Em relação aos elementos traço em água, todas as estações do rio Jucu apresentaram contaminações por ferro, alumínio e manganês em águas superficiais, estando acima do limite permitido. Nos sedimentos somente a estação JUC02 na primeira campanha esteve contaminado por Cr, com concentração de $84,74 \text{ mg.Kg}^{-1}$, e o teor de matéria orgânica nesses sedimentos tiveram relação aos elementos traços em todas as campanhas, com exceção da estação JUC04 ao qual não teve nenhuma afinidade. Nos testes de fitotoxicidade as amostras de água promoveram um efeito estimulante nas sementes de *Lactuca Sativa*, devido a presença de muitos nutrientes.

Palavras-chave: Espectrometria, Índice de qualidade da água, Componentes principais, Elementos traço, Fitotoxicidade.

ABSTRACT

The Jucu River is one of the main rivers in the state of Espírito Santo (Brazil), because it supplies 25% of the population and is essential to society. The water conditions of the river were studied by analyzing physico-chemical, microbiological and biological parameters, such as: temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, turbidity, total solids, solids dissolved and suspended, biochemical oxygen demand, chemical demand of oxygen, total nitrogen, thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*, trace elements and phytotoxic effect using *Lactuca Sativa* as a bioindicator. The presence of trace elements Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, Cd, Cr, Cu, Pb and Co were analyzed in river water and sediment. The results of the surface waters were compared with the resolution of the National Council of the Environment (CONAMA) n° 357/05, and the sediments with the resolution of CONAMA n° 420/09, which are for soils. With the application of the water quality index (IQA), the study showed that in the second season water pollution increased due to rainfall, leaving the river with more contaminants. In addition, it was possible to observe that stations JUC01, JUC05 and JUC06 suffer more from anthropic actions due to the high presence of *Escherichia coli*, which is related to fecal contamination. The chemometry was used to find similarities between the stations analyzed, the results showed formations of groupings the stations, making separations between the of good and regular waters. In relation to trace elements in water, all stations of the Jucu River presented contaminations by dissolved iron, aluminum and manganese in surface waters, being above the allowed limit. In the sediments only JUC02 station in the first campaign was contaminated by Cr, with a concentration of 84.74mg.Kg⁻¹, and the organic matter content in these sediments was related to trace elements in all campaigns, except for JUC04 station had no affinity. And the water samples promoted a stimulating effect on *Lactuca Sativa* seeds in phytotoxicity tests due to the presence of many nutrients.

Keywords: Spectrometry, Water quality index, Main components, Trace elements, Phytotoxicity

SUMÁRIO

1. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
1.1. A água e os seus padrões de qualidade	17
1.2. Índice de qualidade de água (IQA).....	20
1.3. Parâmetros físico-químicos	25
1.3.1. <i>Temperatura</i>	25
1.3.2. <i>Condutividade</i>	28
1.3.3. <i>Salinidade</i>	28
1.3.4. <i>pH</i>	29
1.3.5. <i>Turbidez</i>	30
1.3.6. <i>Sólidos totais</i>	30
1.3.7. <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	31
1.3.8. <i>Série Nitrogenada (Nitrogênio NTK, Amônia e Nitrato)</i>	33
1.3.9. <i>Matéria Orgânica</i>	33
1.3.10. <i>Coliformes termotolerantes</i>	34
1.4. Elementos traço	35
1.4.1. <i>Águas superficiais</i>	35
1.4.2. <i>Sedimentos</i>	35
1.4.3. <i>Ocorrência e Toxicologia</i>	37
1.4.3.1. <i>Cálcio</i>	38
1.4.3.2. <i>Magnésio</i>	39
1.4.3.3. <i>Zinco</i>	39
1.4.3.4. <i>Ferro</i>	40
1.4.3.5. <i>Manganês</i>	40
1.4.3.6. <i>Cromo</i>	41
1.4.3.7. <i>Cobalto</i>	42
1.4.3.8. <i>Cobre</i>	42
1.4.3.9. <i>Níquel</i>	43
1.4.3.10. <i>Cádmio</i>	44
1.4.3.11. <i>Alumínio</i>	44
1.4.3.12. <i>Chumbo</i>	45
1.4.4. <i>Análise de elementos traço em amostras ambientais utilizando a Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)</i>	46

1.1.	Toxicidade - Bioensaio de fitotoxicidade com <i>Lactuca Sativa</i> ...	49
1.2.	Análise multivariada de dados.....	50
1.3.	Bacia Hidrográfica do Rio Jucu	51
2.	OBJETIVOS.....	55
2.1.	Objetivo geral.....	55
2.2.	Objetivos específicos	55
3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	56
3.1.	Parâmetros Físico-Químicos.....	59
3.1.1.	<i>Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Salinidade, pH, Turbidez e Sólidos dissolvidos totais.</i>	59
3.1.2.	<i>Sólidos</i>	59
3.1.3.	<i>Nitrogênio total</i>	60
3.1.4.	<i>Escherichia Coli</i>	61
3.1.5.	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)^{5.20}</i>	61
3.1.6.	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	63
3.1.7.	<i>Matéria Orgânica nos sedimentos</i>	65
3.3.	Elementos traço	65
3.4.	Ensaio com <i>Lactuca sativa</i>	69
3.4.1.	<i>Análise do índice de germinação (GI) e índice de crescimento radicular (CR)</i>	69
3.5.	Análise multivariada de Dados	69
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.	CONCLUSÃO	96
6.	REFERÊNCIAS	97
	ANEXOS	108

1. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1.1. A água e os seus padrões de qualidade

No século VI a.c., Tales de Mileto, já dizia: “tudo vem da água, tudo possui água... A inexistência da água traz a inexistência da vida... Ela é a primeira substância que origina a vida”.¹

O filósofo grego Tales de Mileto sabia que a água era um recurso natural indispensável à sobrevivência de todos os organismos vivos e extremamente importante para a manutenção do clima na Terra, porém, em virtude do crescimento populacional ligado ao desenvolvimento urbano, tem ocorrido a diversificação dos usos da água.²

Embora a água seja encontrada com grande abundância no planeta, somente 0,77% está disponível para o consumo humano e dependendo do local e das condições de sua origem, com o tempo a água pode apresentar qualidades variáveis, e hoje em dia tem sido uma grande preocupação devido às poluições.³

A poluição das águas de rios se deve a maior parte pela ação antropogênica, pelo despejo de resíduos líquidos e sólidos *in natura*, desta forma, as fontes que levam à degradação da qualidade da água podem ser classificadas em pontuais, que são aquelas caracterizadas pelos efluentes domésticos e industriais, e em difusas, que são os resíduos provenientes da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros) e o escoamento superficial (urbano e rural).⁴

Nesse sentido, torna-se necessário uma atenção especial na gestão do uso das águas, bem como promover o saneamento e controlar rigorosamente os rejeitos industriais descartados nos corpos d'água.⁵

O primeiro marco legal específico dos recursos hídricos foi instituído a partir do Código das Águas, estabelecido pelo decreto 24.643, de 10 de julho de 1934, que é considerada pela Doutrina Jurídica como um dos textos modelares do direito positivo brasileiro, abrangendo alguns aspectos como aproveitamento de águas, aplicação de penalidades, regras para concessões e autorizações, fiscalizações, derivações e desapropriação.⁶

O Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) constituído pela Política Nacional do Meio Ambiente possui como órgão consultivo e deliberativo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).⁷

O CONAMA tem o objetivo de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo do SISNAMA diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à boa qualidade de vida.⁷

As classes de água correspondem a uma determinada qualidade que deve ser mantida, expressa sob a forma de padrões de qualidade como, por exemplo, concentração de poluentes, concentrações de parâmetros de qualidade e limites máximos permissíveis.

As classes de enquadramento das águas são divididas em cinco tipos, sendo que a primeira são as águas de classe especial, essas devem possuir sua condição natural, não sendo aceito o lançamento de efluentes, mesmo que tratados. Para as demais classes (classe 1, 2, 3 e 4), são admitidos níveis crescentes de poluição, sendo a classe 1 com os menores níveis e as classes 4 (águas doces) e 3 (águas salobras e salinas) as com maiores níveis de poluição, que se pode observar na Figura 1.⁸



Figura 1. Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.⁸

O enquadramento de um corpo d'água deve ser baseado não necessariamente no seu estado atual, mas no nível de qualidade que deveria possuir para atender às necessidades da comunidade (Figura 2).⁸

USOS DAS ÁGUAS DOCES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário 					
Aquicultura 					
Abastecimento para consumo humano 	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário 					
Pesca 					
Irrigação 		Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 					
Navegação 					
Harmonia paisagística 					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Figura 2. Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos.⁸

A resolução do CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o enquadramento, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, que foram alteradas e complementadas posteriormente com a resolução do CONAMA nº 430/2011.⁹

Além disso, os padrões de qualidade das águas determinados pela resolução do CONAMA nº 357/05, em vigência a partir do dia 17 de março de 2005, estabelecem limites individuais para cada substância em cada uma de suas classes de enquadramento.¹⁰

1.2. Índice de qualidade de água (IQA)

Os primeiros estudos relacionando o nível de pureza e a poluição da água foram realizados na Alemanha em 1848.¹¹ Estes estudos procuraram sintetizar os dados de qualidade da água, por meio da relação entre o nível de pureza da água e a poluição, com a ocorrência de determinadas comunidades de organismos aquáticos.¹²

A água contém uma ampla variedade de constituintes que podem ser medidos nesses programas de monitoramento da qualidade, relacionado aos seus aspectos físicos, químicos e biológicos, e logo, a avaliação da qualidade da água, a interpretação dos dados por comportar múltiplos aspectos, torna-se complexa, onerosa e apresentando dificuldade na aplicação em tempo real.¹³

Para melhorar esta avaliação, vem sendo desenvolvidos e utilizados em todo o mundo o índice de qualidade de água (IQAs), visando resumir as variáveis analisadas em um número, que possibilite analisar a evolução da qualidade da água e facilitando a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores.¹⁴

Os indicadores de desempenho ambiental podem ser entendidos como parâmetros que fornecem informações a respeito de uma atividade ou um cenário, em relação aos fatores ambientais, possibilitando a realização de análises, conclusões e tomadas de decisão estratégicas.¹⁵

Um Índice de Qualidade de Água (IQA) é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos, bacteriológicos, químicos por meio de metodologias específicas.¹⁶

Pelo seu caráter reducionista, em que vários itens de qualidade são convertidos em uma nota ou avaliação única, os índices são bastante questionáveis, uma vez que mascaram ou atenuam a multiplicidade de condições que ocorrem em um corpo hídrico. Por outro lado, a capacidade de síntese proporcionada por um índice, desde que entendidas suas limitações intrínsecas, é de grande importância para a comunicação com o público.¹⁷

Com respeito aos índices que tratam especificamente da qualidade da água de uma bacia hidrográfica, o marco inicial se deu em 1965 quando Horton

desenvolveu, através de um estudo pioneiro, índices gerais, selecionando e ponderando variáveis analíticas de qualidade de diversas águas.¹⁶

O índice de qualidade de águas foi definido por Horton em 1965, baseado em medidas físicas, químicas e biológicas, no qual os parâmetros relacionados foram: oxigênio dissolvido, pH, coliformes fecais, condutividade elétrica, alcalinidade e cloretos.¹⁸

Em 1970 Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram um índice de qualidade de água bastante similar ao índice de Horton e o estudo foi financiado pela *National Sanitation Foundation* chamado de *Water Quality Index* (WQ_{NSF}) ou Índice de Qualidade de Água da Fundação Nacional de Saneamento (IQ_{NSF}).¹⁶

O índice combinou as opiniões de 142 especialistas, baseado na técnica de Delphi da Rand Corporation, através das respostas a vários questionários, tabuladas e retornadas a cada participante, para comparação de sua resposta com a dos demais participantes a fim de se chegar a um consenso.¹⁶

Os especialistas e pesquisadores avaliaram e opinaram sobre a agregação de variáveis analíticas de qualidade de água para a composição do IQ_{NSF}. De trinta e cinco variáveis indicadoras, foram selecionadas nove variáveis para compor o índice, oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, totais dissolvidos e turbidez.¹⁶

Desde 1975 a Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB) utiliza uma versão adaptada da versão do IQA criado pela Fundação Nacional de Saneamento (National Sanitation Foundation), ele é o índice de qualidade de água mais utilizado atualmente no Brasil. Os parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA_{CETESB} retratam basicamente a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos, outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos.¹⁶

Esse índice foi elaborado para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal sua utilização para o abastecimento público, considerando um tratamento convencional dessas águas, ou seja, outras utilidades da água não são diretamente contempladas no IQA_{CETESB}.¹⁹

Algumas variáveis e seus respectivos pesos feitos pela CETESB foram alterados. Essa mudança é verificada para os parâmetros Coliformes

termotolerantes, DBO e pH. Além disso a variável nitrato foi substituída pelo nitrogênio total (somatória da concentração de nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico) e o sólidos totais dissolvidos foi alterado pelos sólidos totais. ^{20,21}

As variáveis que não foram substituídas foram mantidas as curvas médias de variação de qualidade da água utilizadas pelo IQA_{NSF}. Essas curvas correlacionam o valor do resultado obtido através das medições de cada variável e sua implicação em relação à qualidade do sistema hídrico estudado (Figura 3).

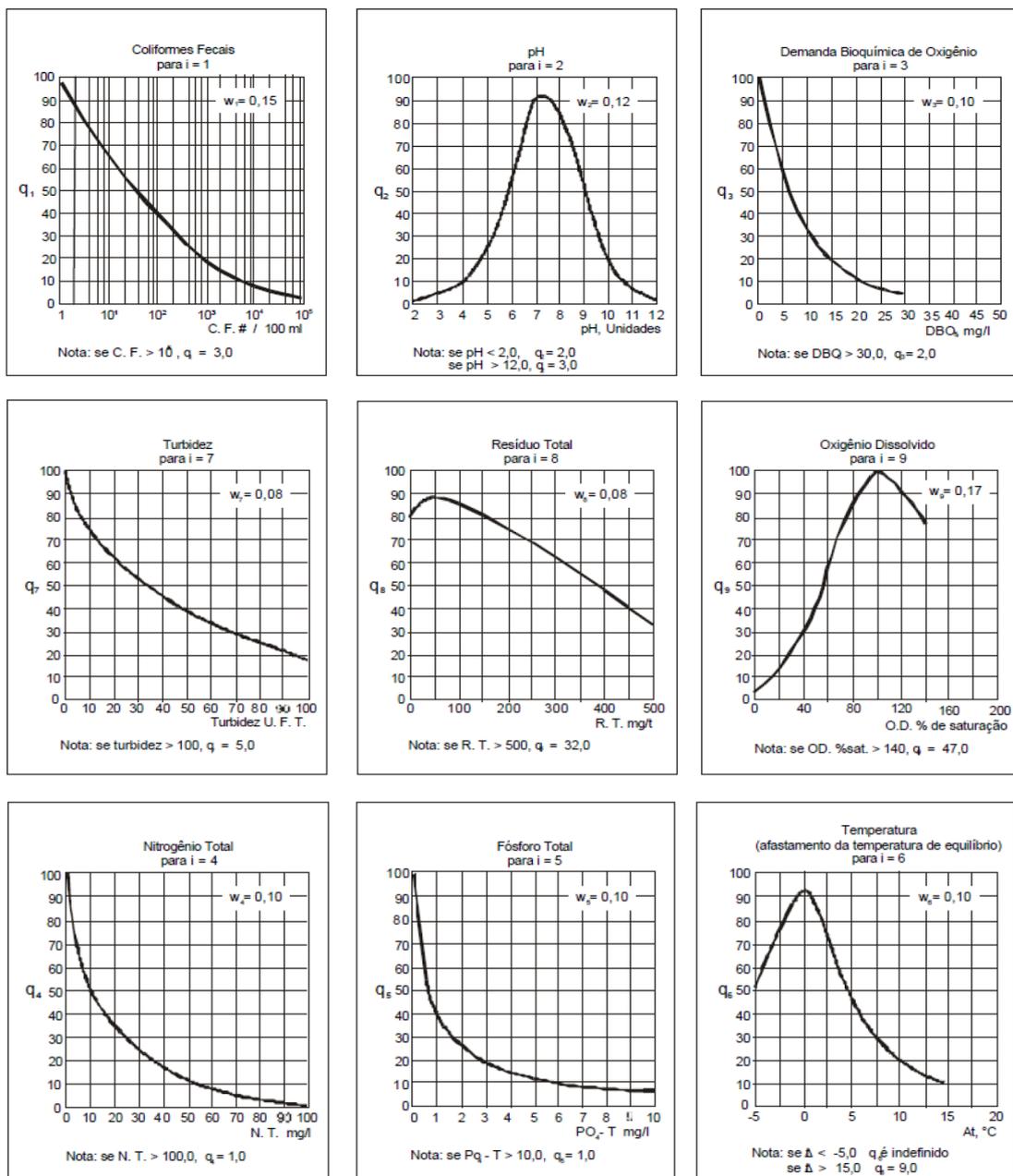


Figura 3. Curvas médias de variação de qualidade da água utilizadas no IQA_{CETESB}. Fonte: (CETESB, 2013).²²

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros selecionados (Equação 1).²³

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

IQA = um número entre 0 e 100;

q_i = valor do subíndice relativo ao i -ésimo parâmetro.

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1 (Equação 2), de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA, que é nove.

Na Tabela 1, têm-se os valores de IQA e a classificação das águas.

Tabela 1. Classificação dos valores do IQA_{CETESB} em faixas de qualidade.²⁴

Valor IQA _{CETESB}	Classificação
$100 \geq IQA \geq 80$	Ótima
$80 > IQA \geq 52$	Boa
$52 > IQA \geq 37$	Aceitável
$37 > IQA \geq 20$	Ruim
$20 > IQA \geq 0$	Péssima

O IQA é particularmente sensível a contaminação por esgotos, sendo um índice de referência normalmente associado à qualidade da água bruta captada para o abastecimento público após o tratamento.²⁴

A Tabela 2 apresenta os parâmetros analisados pela Fundação Nacional de Saneamento (NSF) e pela CETESB, e os seus pesos relativos (w_i) para o

cálculo do índice de qualidade da água.

Tabela 2. Parâmetros e pesos para o cálculo do IQA_{NSF} e do IQA_{CETESB}

Parâmetros	NSF Pesos (w_i)	CETESB Pesos (w_i)	Unidade
Oxigênio Dissolvido	0,17	0,17	% Saturação
Coliformes Fecais	0,16	0,15	NMP/ 100mL
pH	0,11	0,12	Escala
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,11	0,10	mg.L ⁻¹
Nitrogênio Total	-	0,10	mg.L ⁻¹
Nitrato	0,10	-	mg.L ⁻¹
Fósforo Total	0,10	0,10	mg.L ⁻¹
Temperatura	0,10	0,10	mg.L ⁻¹
Sólidos Totais	-	0,08	mg.L ⁻¹
Sólidos Totais Dissolvidos	0,07	-	mg.L ⁻¹
Turbidez	0,08	0,08	UNT

Existem muitos estudos que aplicam o índice de qualidade de água juntamente com outras ferramentas em seus trabalhos científicos, como pode ser observado nos estudos a seguir. Zanini *et al.* (2010)²⁵, utilizou o índice de qualidade da água e o índice de estado trófico médio para avaliar a qualidade da água da microbacia do Córrego Rico, que abastece a cidade de Jaboticabal (SP).

No Espírito Santo, Bertossi *et al.* (2013)²⁶ utilizaram o IQA junto com análise de componentes principais para avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas da bacia hidrográfica do córrego Horizonte, em Alegre-ES.

Effendia *et al.* (2015)²⁷ utilizou o IQA junto com o índice de poluição para avaliar a qualidade da água rio Ciambulawung, localizado na Indonésia.

Pedroso *et al.* (2017)²⁸ também utilizaram o IQA para avaliar a água da bacia hidrográfica do Ribeirão da areia (Goiás), eles também aplicaram técnicas de geoprocessamento visando espacialização dos pontos de amostragem.

E şener *et al.* (2017)²⁹ utilizou o IQA para avaliar a qualidade da água do

rio Aksu na Turquia para beber, junto com outros parâmetros físico-químicos.

1.3. Parâmetros físico-químicos

1.3.1. Temperatura

A Temperatura da água indica a intensidade de calor que é absorvido pela laminad'água. Nos corpos d'água a temperatura normalmente varia conforme sazonalidade, sendo ela relacionada a estações do ano, períodos de seca ou de chuva e até mesmo a variação diária de influência solar. Este parâmetro também pode ser influenciado diretamente pela latitude, circulação do ar, velocidade da corrente da água, entre outros fatores.³⁰

Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, os parâmetros: viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam.³¹

A temperatura afeta processos químicos, físicos e biológicos os quais influenciam outras variáveis de qualidade da água. A elevação de temperatura, na maior parte das vezes, aumenta as taxas de reações físicas, químicas ou biológicas, e diminuem a solubilidade de diversos gases, como por exemplo o oxigênio.³²

Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica, temperaturas ótimas para crescimento e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo, ou seja, variações de temperatura não esperadas podem desencadear alterações nas comunidades aquáticas e conseqüentemente nas condições de qualidade da água devido ao desequilíbrio do sistema.³³

O aumento de temperatura da água acelera as reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, aumenta a solubilidade dos sais, conseqüentemente, acentua o odor.³⁴

No Brasil, de modo geral, as temperaturas dos ambientes aquáticos variam de 20° C a 30 °C, o que não é a realidade comum das regiões frias do país, as quais mantêm essas temperaturas entre 5° C e 15° C.³⁵

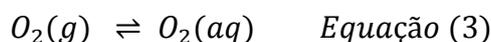
A variação da temperatura também afeta a solubilidade dos sólidos no meio aquoso pois em um ambiente mais quente os sólidos presentes podem se

dissolver ou mais difícil fica de ser dissolvido, isto dependerá da elemento, por exemplo, o cloreto de sódio, que a medida que aumenta a temperatura mais disponíveis estão os íons e em maior quantidade.³⁶

Oxigênio Dissolvido (OD)

O Oxigênio dissolvido representa a quantidade de oxigênio molecular (O₂) dissolvido na água e geralmente é expresso, em mg.L⁻¹ ou em porcentagem de saturação em uma dada temperatura e pressão.³⁷

A presença do O₂ na água se deve, em parte, à sua dissolução do ar atmosférico para a água (equação 3):



cuja constante de equilíbrio apropriada é a constante da Lei de Henry (K_H)

Para o processo de dissolução do O₂, K_H é definida como:

$$K_H = \frac{[O_2(aq)]}{pO_2} \quad \text{Equação (4)}$$

onde pO₂ é a pressão parcial do oxigênio atmosférico.

O valor de K_H para o O₂ a temperatura de 25 °C é de 1,29 x 10⁻³ mol L⁻¹ atm⁻¹. Desta forma, como no nível do mar a pressão atmosférica é de 1 atm e a composição média em volume ou molar do ar seco é de 21% de O₂, pode-se estimar a pressão parcial do oxigênio como sendo 0,21 atm. Substituindo esse valor de pressão na expressão da constante de equilíbrio de Henry rearranjada, tem-se:

$$[O_2] = K_H pO_2 = 1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1} \times 0,21 \text{ atm} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Portanto, estima-se a solubilidade do O₂ em água, a 25 °C e no nível do mar, como sendo 8,6 mg L⁻¹.³⁸

Todos os organismos do planeta estão dependentes, de alguma forma, do oxigênio para manter a atividade metabólica que produz energia para o

crescimento e para a reprodução. Seu resultado estreitamente ligado a outros parâmetros condicionantes, como por exemplo, salinidade, temperatura, pressão atmosférica e atividade fotossintética.³⁹

As principais fontes de oxigênio na água são: troca com a atmosfera (aeração); produção pelos organismos produtores primários via fotossíntese e; a própria água.⁴⁰

O oxigênio dissolvido é uma das principais variáveis utilizadas no controle dos níveis de poluição nas águas e na caracterização de seus efeitos, principalmente no caso de despejos industriais ou lançamentos irregulares, de origem doméstica, que contem elevadas taxas de matéria orgânica.⁴⁰

No processo de decomposição do material orgânico feito por bactérias aeróbicas e outros organismos, grandes taxas de oxigênio dissolvido são consumidas através de processos respiratórios dos indivíduos atuantes. Dessa forma, valores baixos de oxigênio dissolvido podem ser associados com a presença de material orgânico, provavelmente advindo de esgotos ou despejos irregulares, e grande quantidade de biomassa de bactérias aeróbicas decompositoras.⁴⁰

Deve se ressaltar que, no caso de um corpo hídrico eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido.⁴¹

Como descrito anteriormente, uma baixa concentração de oxigênio dissolvido acusa a presença de material orgânico e conseqüentemente, fontes de poluição domésticas ou industriais. Enquanto que altas concentrações, entre os valores considerados médios e o valor correspondente à concentração de saturação, representam águas teoricamente “limpas”. Porém não é conveniente altas concentrações, pois o oxigênio é fator significativo na corrosão de tubulações de ferro e aço.^{41,42}

As águas superficiais oxigenadas favorecem a oxidação de elementos traço tóxicos que normalmente são disponibilizados através dos diversos processos produtivos.⁴³

A porcentagem de saturação de oxigênio na água depende da temperatura da água, da pressão atmosférica e da salinidade. Quanto menor a temperatura, maior a quantidade de oxigênio dissolvido a água consegue reter.

Ou quanto maior a salinidade menor será a concentração de oxigênio dissolvido.⁴²

A sobrevivência dos peixes, por exemplo, demanda concentrações mínimas de OD entre a 10% e 60% de saturação, dependendo da espécie e outras características do sistema aquático.⁴⁴

1.3.2. Condutividade

A condutividade elétrica é a capacidade que um material possui em conduzir eletricidade. A água conduz eletricidade, pois nela existem diversos íons dissolvidos, os quais possuem cargas elétricas, chamados de eletrólitos. A medida de condutividade pode indicar indiretamente a presença de poluição ou desequilíbrio no corpo hídrico, pois na composição dos efluentes podemos encontrar íons em solução.^{45,46}

A condutividade elétrica de uma solução de nutrientes e água pode ser expressa como Siemens por cm ($S.cm^{-1}$), millisiemens por cm ($mS.cm^{-1}$) ou microsiemens por cm ($\mu S.cm^{-1}$). Um exemplo é a água destilada que tem baixíssima quantidade de eletrólitos, a sua condutividade é expressa em $\mu S.cm^{-1}$ e na água salobra essa condutividade tende a aumentar, devido a maior quantidade de eletrólitos, chegando a $mS.cm^{-1}$. Em geral, níveis acima de $100 \mu S.cm^{-1}$ em águas de rio indicam ambientes impactados (CETESB, 2005).⁴⁷

1.3.3. Salinidade

A salinidade da água representa a quantidade de sais presente, traduz o teor de sais dissolvidos ou em suspensão, dentre os quais se pode destacar os cloretos de sódio, magnésio e cálcio, os sulfatos de magnésio, potássio e cálcio e os carbonatos e nitratos de cálcio e magnésio.⁵

A salinidade pode ser expressa em nanogramas por litro ($ng.L^{-1}$) ou por mil (‰), de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005 as águas doces são as águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, águas salobras são águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ e águas salinas são as águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.¹⁰

1.3.4. pH

Chamado de potencial hidrogeniônico (pH), o pH representa a concentração de íons de hidrogênio H^+ na solução, indicando condições de acidez, alcalinidade ou neutralidade da água.⁴⁸

Os valores de pH são capazes de oferecer indícios sobre a qualidade de um corpo hídrico ou sobre que tipo de poluição química está presente na água. Em um curso d'água, a variação do pH depende de vários fatores naturais, como clima, geologia e vegetação, porém também pode ser resultado de interferências antropogênicas. A forma constituinte responsável, comumente, por conferir à água valores diferenciados de pH, são os sólidos e os gases dissolvidos.⁴⁸

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais afeta a vida aquática, devido a seus efeitos direto sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como elementos traço; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.⁴⁸

Altos valores de pH podem estar associados à proliferação de algas e processos de eutrofização, já que o maior número de plantas causa o aumento da fotossíntese, elevando o consumo de gás carbônico e, portanto, diminuindo o teor de ácido carbônico da água, conseqüente aumentando o pH. O pH básico contribui para formas particuladas e coloidais dos elementos traço e a decantação para o sedimento, onde podem ficar retidos e pouco biodisponíveis.⁴⁸

No caso de valores baixos de pH, a principal causa é a presença de CO_2 , ácidos minerais e sais hidrolisados, que são claros indicativos de presença de efluentes industriais ou despejos domésticos, predominam as formas iônicas dos elementos traço, na fase dissolvida.⁴⁸

E as águas de origem domésticas e industriais são as principais fontes de poluição de elementos traços no corpo hídrico, que leva pode levar a bioconcentração (quando as substâncias são absorvidas por organismos em concentrações mais elevadas do que as presentes no meio ambiente) caso ocorra mudanças nos valores de pH.⁴⁹

1.3.5. Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através de um meio líquido, e é provocada pela presença de material sólido em suspensão.⁵⁰

Por estar associada à poluição inorgânica, orgânica e por ter influência direta no potencial fotossintetizante de algas, que são fundamentais para a cadeia trófica e a reoxigenação do meio aquático, a quantificação da turbidez torna-se essencial para a caracterização da qualidade das águas.⁵¹

Quando elevada, pode afetar esteticamente os corpos d'água; encarecer o tratamento para os diversos usos; além de promover distúrbios na fauna e na flora, devido a redução da penetração de luz.⁵¹

Nos corpos de água a turbidez é especialmente alta em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pluviométrica pode conduzir partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo para o corpo hídrico.⁵²

O aumento da turbidez também pode ocorrer por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais.⁵²

1.3.6. Sólidos totais

Os sólidos totais correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação de uma parcela de água. A concentração total de sólidos em uma amostra é definida como a matéria que permanece como resíduo após a secagem em uma temperatura de 105 °C.⁶

A classificação dos sólidos pode ser química ou física. Quimicamente, são classificados como fixos, que permanecem após completa evaporação da água e são geralmente sais; e voláteis, que se volatilizam em temperaturas inferiores a 550°C, sejam substâncias orgânicas ou minerais.⁶

Do ponto de vista físico, são classificados segundo suas dimensões; com tamanhos inferiores a 2,0 µm são chamados dissolvidos, e com dimensões superiores a esta, são chamados sólidos em suspensão que acabam ficando retidos no papel filtro no processo de filtração. O excesso de sólidos na água pode causar alterações no sabor e problemas com corrosão. Já os sólidos em suspensão provocam turbidez que prejudica principalmente a atividade

fotossintética, influenciando no teor de oxigênio dissolvido.⁵³

A existência de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, orgânicos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgoto). Mesmo que os parâmetros de turbidez e os sólidos estejam associados, eles não são absolutamente equivalentes.⁶

Para um recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia.

A portaria nº 518 de 25 de maio de 2004 do Ministério da Saúde, refere-se apenas a sólidos totais dissolvidos, com um limite de 1000 mg.L^{-1} , tendo em vista que essa parcela demonstra a influência do lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água.⁵⁴

1.3.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DBO e a DQO são variáveis de qualidade de água que ajudam a determinar a quantidade de matéria orgânica presente nos corpos hídricos através da medição do consumo de oxigênio de um corpo hídrico, sendo considerada uma medição indireta.⁵⁵

O material orgânico pode ser classificado entre fração biodegradável e não biodegradável.⁵⁵

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização e metabolização da fração de material orgânico biodegradável existente em uma amostra. Esta metabolização é responsável por transformar os compostos orgânicos biodegradáveis em matéria inorgânica estável como água e gás carbônico.⁵⁵

Mas em elevadas concentrações de matéria orgânica isso pode impulsionar uma condição de anoxia para o corpo hídrico, provocando o desaparecimento e morte de espécies e a desarmonia do sistema. Valores elevados de DBO podem indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis.⁵⁵

DBO é reconhecida como a quantidade de oxigênio consumido por processo biológico, exercida por microrganismos através da respiração, durante

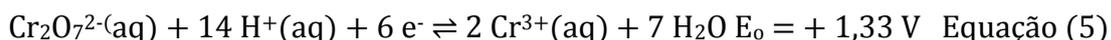
um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica.⁵⁵

É uma medida que procura retratar em laboratório o fenômeno que acontece no corpo d'água. Quando o período de incubação da DBO é de 5 dias, em uma temperatura de incubação de 20°C, a DBO é conhecida como DBO 5.20.⁵⁵

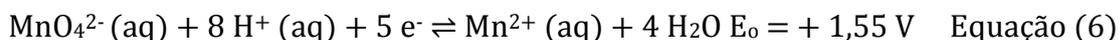
Já a demanda química de oxigênio (DQO) é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação química da fração de material orgânico biodegradável ou não, em meio ácido e com condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte.⁵⁵

Esta técnica apenas estima a concentração de matéria orgânica em termos de oxigênio consumido já que nos corpos d'águas as condições não são tão energéticas, além do fato de que algumas espécies inorgânicas, tais como nitritos, compostos reduzidos de enxofre e substâncias orgânicas - como hidrocarbonetos aromáticos, compostos alifáticos de cadeia aberta e piridinas - não são oxidadas. A principal vantagem da determinação da DQO é a rapidez, levando um pouco mais de duas horas para o resultado, enquanto que a DBO leva 5 dias.⁵⁵

Embora a demanda química do oxigênio possa ser medida com vários oxidantes, o mais comum é com o dicromato (equação 5):



A oxidação com permanganato (equação 6) é mais utilizada para águas limpas, com baixa concentração de matéria orgânica.



O dicromato é mais utilizado para concentrações acima de 5 mg.L⁻¹ (águas mais com maior teor de matéria orgânica) e o permanganato para concentrações inferiores a 5 mg. L⁻¹ (águas mais limpas, avaliação de potabilidade).⁵⁶

1.3.8. Série Nitrogenada (Nitrogênio NTK, Amônia e Nitrato)

Os compostos nitrogenados são considerados nutrientes para os processos biológicos e podem ser encontrados, nos corpos hídricos, nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão), nitrogênio amoniacal ou amônia (livre ou ionizada), nitrito e nitrato.⁶

A contaminação das águas por esses nutrientes é por meio de despejos domésticos e industriais, e lançamentos de substâncias fertilizantes. Além disso, a presença das diferentes formas de nitrogênio nos ecossistemas aquáticos pode se dar por fenômenos naturais e fatores não antrópicos como a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, a fixação química e a dissolução de outros compostos.⁶

O nitrogênio amoniacal é encontrado em duas formas dissolvidas: a amônia livre (NH_3) e a amônia ionizada (NH_4^+). A amônia livre tem caráter extremamente tóxico, dependendo das condições de pH e de temperatura para se manter dentro de certos limites que não impactam negativamente no ambiente aquático. No entanto, altos valores de amônia ionizada são encontrados em ambientes anóxicos, caracterizados por uma intensa mineralização da matéria orgânica.⁶

Avançando nos estágios de oxidação dos compostos nitrogenados, o nitrito (NO_2^-) é o estado intermediário entre a amônia (NH_3) e o nitrato (NO_3^-).

Altas concentrações de nitrito podem significar uma grande atividade bacteriana e carência de oxigênio. Já o nitrato é a forma mais estável do nitrogênio em estágio final de oxidação, sendo um dos principais nutrientes dos produtores primários.⁵⁷

Embora o íon nitrato seja notoriamente pouco tóxico ao homem, ele pode ser reduzido no organismo (no estômago, intestino ou fígado) a íons nitritos, com efeitos negativos para a saúde, causando problemas de metemoglobinemia em crianças (oxidação do ferro II da hemoglobina a ferro III e, conseqüentemente, ao grave problema de hipo-oxigenação do sangue).⁵⁷

1.3.9. Matéria Orgânica

Matéria orgânica é todo o material de origem vegetal ou animal produzido no próprio ambiente aquático ou introduzido nele por meio de despejos ou carreamento, ou seja, pelo arraste por água de chuva.⁵⁸

A matéria orgânica do solo possui grande importância, tanto do ponto de vista químico, quanto físico ou biológico, ela tem influência no fornecimento de nutrientes às plantas, retenção de água, de cátions e outros fatores.⁵⁹

Seus teores e características, resultado das taxas de produção, alteração e decomposição de resíduos orgânicos, são dependentes de uma série de fatores, como temperatura, aeração, pH e disponibilidade de água e nutrientes, muitos deles condicionados pelo uso e manejo dos solos.⁵⁹

A decomposição da matéria orgânica implica no consumo de oxigênio presente no meio. Com a decomposição da matéria orgânica liberam-se nutrientes para o meio que serão utilizados pelas algas e vegetais superiores para o seu crescimento, esses nutrientes são especialmente o nitrogênio e o fósforo. Geralmente, em ambientes naturais há baixa concentração de matéria orgânica e escassez de nutrientes, limitando o crescimento das algas.⁵⁸

Porém com o aumento de nutrientes por meio de despejos de origem antrópica, acaba desequilibrando os processos de fotossíntese (por causa da queda da concentração do oxigênio dissolvido) e decomposição, acarretando graves problemas ambientais. A alta concentração de nutrientes é chamada de eutrofização.⁵⁸

1.3.10. Coliformes termotolerantes

Os coliformes termotolerantes representam um parâmetro microbiológico muito importante para o monitoramento da qualidade de água.

As bactérias do grupo coliforme (as *Escherichia Coli*), elas são consideradas indicadores primários da contaminação fecal das águas, humana ou animal, servindo para mostrar de forma indireta, a existência de alguns organismos patogênicos, especialmente vírus, bactérias e protozoários que são mais dificilmente localizados e caracterizados.⁶

Portanto, a presença de coliformes termotolerantes não indica necessariamente a existência de organismos patogênicos, porém indica essa probabilidade.⁶

Os coliformes termotolerantes envolvem apenas uma porção do grupo coliforme e têm maior significância na avaliação da qualidade sanitária do ambiente já que são bons indicadores de qualidade das águas em termos de poluição por despejos domésticos e esgotos sanitários.⁵⁴

As principais alterações causadas pelo aumento do nível de coliformes termotolerantes incluem: o declínio dos níveis de oxigênio dissolvido, a elevada concentração de micropoluentes e a presença de organismos patogênicos, e são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera.⁶⁰

1.4. Elementos traço

1.4.1. Águas superficiais

Os elementos traço podem estar presentes em águas superficiais e subsuperficiais tanto em razão de processos naturais quanto devido à atividade antropogênica.⁶¹

Os processos naturais que colaboram para o aparecimento de elementos traço em águas são o intemperismo de rochas e a lixiviação de elementos no perfil do solo, enquanto que as fontes antropogênicas estão relacionadas principalmente com as atividades industriais, mineração e agropecuárias.⁶²

Logo, a composição química da água está diretamente associada com o trajeto percorrido por ela, na superfície do solo ou nas fraturas das rochas que afloram.⁶²

No Brasil, a Resolução do CONAMA nº 357/05 apresenta os valores limites permitido para alguns elementos traço em águas de classe 1 e 2.⁶²

1.4.2. Sedimentos

O termo sedimento vem do latim *sedimentum*, que significa deposição ou aquilo que é sujeito de se depositar, eles são sólidos suspensos ou depositados que atuam como o principal componente de uma matriz, que foi ou é suscetível ao transporte pelas águas. São partes essenciais, integrais e dinâmicas das bacias hidrográficas, incluindo estuários e zonas costeiras. Sua origem está associada ao intemperismo e erosão de rochas e solos das porções mais altas da área de drenagem.⁶³⁻⁶⁵

Os sedimentos são reservatórios de elementos traço potencialmente tóxicos, liberando essas substâncias para a coluna d'água, em função de alterações nas condições físico-químicas do meio (pH, oxigênio dissolvido, potencial redox, ação de bactérias entre outros). Dessa forma, em sistemas aquáticos, os

elementos traço podem depositar-se no sedimento e atingir concentrações altas o suficiente para tornarem-se um risco à biota.⁶⁶

A contaminação do sedimento por elementos traço é extremamente prejudicial por serem altamente persistentes no ambiente, não sendo degradados ou rapidamente destoxificados pelos seres vivos tornando, ao contrário da maioria dos contaminantes orgânicos, um agravante problema de poluição, ao longo do tempo. Este risco está diretamente ligado à sua biodisponibilidade.⁶⁶

Essas acumulações têm o potencial de causar impactos ambientais indesejáveis, tais como toxicidade fito (que causa inibição do desenvolvimento de uma espécie de planta) e microbiana na cadeia alimentar e contaminação das águas subterrâneas.⁶⁶

De modo geral, os sedimentos têm uma alta capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas e menos de 1% das substâncias que atingem um sistema aquático são dissolvidas em água e, conseqüentemente, mais de 99% são estocadas no compartimento sedimentar.⁶⁷

A troca dos íons presentes na água com o sedimento aumenta em frações finas, com granulometrias inferiores a 0,062 mm. Isso ocorre não só pela existência de uma maior área superficial, como também porque nesta fração ocorrem argilominerais de diferentes grupos, alguns com elevada capacidade de troca de cátions.⁶⁸

Fatores como tamanho da partícula e grau de cristalinidade dos argilominerais influenciam a sorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas. Grãos menores conseguem reter mais as concentrações de nutrientes e contaminantes no sedimento de fundo. Assim, a fração que corresponde ao material mais fino do sedimento, silte e argila, apresenta maior quantidade de elementos traço que em outras frações granulométricas maiores, mostrando grande interação na superfície do mesmo.⁶⁸

Logo, a análise química de sedimentos fornece uma eficiente ferramenta para o gerenciamento da qualidade hídrica. Geralmente, a variação da concentração de elementos traço em sedimentos pode ser caracterizada em função de fatores como a geologia da região, o uso e ocupação da área do entorno, o regime hidrológico, o tipo de vegetação, a presença de mineralizações, dentre outros.^{64,65}

Elementos traço em sedimentos podem existir em diferentes formas químicas. Quando estes compartimentos não sofrem ação antrópica, os elementos traço estão principalmente ligados aos silicatos e aos minerais primários e, portanto, com baixo grau de mobilidade.⁶⁴

Já aqueles elementos químicos incorporados a partir de atividades antrópicas apresentam maior mobilidade e estão ligados a outras fases do sedimento, como carbonatos, óxidos, hidróxidos, sulfetos, dentre outros.⁶⁴

Do ponto de vista ecológico é importante ressaltar que o sedimento é fonte de recursos energéticos para o compartimento biótico e é o componente-chave para o estudo da integridade ecológica destes ambientes.⁶⁴

No Brasil não se possui uma legislação sobre elementos traço em sedimento, porém possui a resolução CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009 do Ministério do Meio Ambiente que estabelece valores de concentração de alguns elementos traço em solo e águas subterrâneas, que pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3. Limites de concentração de prevenção de elementos traço em solo segundo o CONAMA 420/09.⁶⁹

Elemento traço	Concentração de prevenção Peso seco (mg.Kg ⁻¹)
Cd	1,3
Pb	72
Co	25
Cr	75
Cu	60
Zn	300
Ni	30

1.4.3. Ocorrência e Toxicologia

As atividades humanas têm contribuído com o aumento dos níveis de íons metálicos em muitos dos ecossistemas aquáticos naturais. Entre estas atividades destacam-se a mineração, efluentes domésticos e industriais, drenagens urbanas, agricultura, resíduos sólidos acondicionados de maneira inadequada, emissão de poluentes atmosféricos, entre outros. O uso de produtos agrícolas como fertilizantes e pesticidas, podem ser importantes fontes

antrópicas de elementos traço como cádmio, cromo, chumbo, zinco, cobre, arsênio, mercúrio e manganês.^{63,64}

Muitos elementos traço causam grandes efeitos tóxicos em seres humanos, na vida terrestre e aquática e em plantas. Vários deles têm o potencial de se bioacumular, incluindo o cádmio, o cromo, o chumbo, o mercúrio e o zinco. Além do mais, certas formas de cádmio e cromo possuem propriedades carcinogênicas.⁶⁴

Elementos traço essenciais como o Ca, Mg, Zn, Fe, Cr, Co, Cu, Mn e Ni, são importantes para algumas funções vitais do organismo humano, porém quando em excesso podem provocar efeitos tóxicos, e os não essenciais como o Cd, Al e Pb, que mesmo em quantidades vestigiais, podem ser tóxicos aos organismos e seres vivos.⁷⁰

1.4.3.1. Cálcio

O cálcio é o quinto elemento mais abundante da Terra. Tanto o cálcio como seus compostos têm muitos usos industriais. Está presente nas águas superficiais e subterrâneas, como Ca^{2+} , sendo facilmente dissolvido de rochas enriquecidas em minerais de cálcio, particularmente como carbonatos e sulfatos.⁶⁰

Os sais de cálcio conjuntamente com os de magnésio são responsáveis pela dureza da água. Os processos de tratamento de água, de efluentes industriais e domésticos também podem contribuir com cálcio para as águas superficiais.

As concentrações de cálcio nas águas naturais são tipicamente menores que 15 mg.L^{-1} . Em águas associadas com rochas ricas em carbonato, as concentrações podem alcançar $30 - 100 \text{ mg.L}^{-1}$.⁶⁰

Os compostos de cálcio são usados na fabricação de uma enorme variedade de produtos que vai de tintas a fertilizantes. Muitos processos industriais envolvem o uso de óxido de cálcio, muito usada como uma tinta branca de baixo custo para pintar paredes e meio-fio de ruas.⁷¹

O cálcio é um elemento essencial para todos os seres vivos, sendo o elemento metálico mais abundante no corpo humano. Ele é vital para o crescimento e manutenção dos ossos e dos dentes e ajuda na coagulação do sangue e na contração muscular, a vitamina D tem um importante papel na absorção do cálcio.⁷¹

A disfunção metabólica de cálcio nos seres humanos pode dar origem a problemas cardíacos, cálculos renais, raquitismo, má dentição, osteoporose etc. O excesso de cálcio na dieta é eliminado e, algumas vezes, pode causar problemas metabólicos.⁷¹

1.4.3.2. Magnésio

O Magnésio está classificado como o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre. Pode ser encontrado nas águas naturais como Mg^{2+} e, junto com o cálcio, é o principal contribuinte para a dureza das águas.⁶⁰

O magnésio origina-se principalmente do intemperismo de rochas contendo minerais ferromagnesianos e de algumas rochas carbonáticas. As concentrações de magnésio em águas doces podem variar entre 1 a > 100 $mg.L^{-1}$, dependendo dos tipos de rochas que ocorrem na bacia.⁶⁰

Embora o magnésio seja utilizado em muitos processos industriais, esses contribuem pouco para o total de magnésio encontrado nas águas superficiais.⁶⁰

O magnésio também está presente na clorofila, substância essencial para a fotossíntese, sendo assim, nas plantas, o seu papel é correspondente ao do ferro na hemoglobina. Ele é um elemento essencial à vida animal em geral, participando em uma série de reações enzimáticas, especialmente no metabolismo de açúcares. Ele está presente em todas as células, fluidos e em especial nos ossos e músculos do corpo humano.⁷²

1.4.3.3. Zinco

O elemento zinco é um nutriente essencial para os humanos e animais devido a sua atuação como cofator enzimático. E é usado na produção de ligas ou na galvanização de estruturas de aço.⁶⁰

É um elemento presente no ser humano em pequenas quantidades (de 2 até 4 mg), além disso, está presente nos animais e plantas. Sua presença nas águas superficiais naturais ocorre em concentrações geralmente abaixo de $10\mu g.L^{-1}$.^{60, 73}

Nos seres humanos o consumo em excesso pode causar intoxicações agudas. Nas plantas, ele inibe o crescimento, quando se apresenta em altas concentrações. A fitotoxicidade predomina sobre os efeitos adversos que o zinco produz nos outros organismos.⁷³

1.4.3.4. Ferro

O ferro é um elemento metálico essencial e faz parte do grupo dos elementos traço de transição cujos principais estados de oxidação são +2 e +3. Na natureza é possível encontrar os isótopos 54, 56, 57 e 58, sendo o isótopo 56 encontrado majoritariamente.⁷⁴

Ele é maleável, prateado, é um dos elementos mais conhecidos pelo homem, pois é um dos elementos que mais contribuiu para o desenvolvimento da sociedade.⁷⁵

O ferro é o segundo elemento mais encontrado na crosta terrestre e também no interior das estrelas e em meteoritos. Na natureza o ferro ocorre principalmente em compostos como minérios de hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita ($\text{FeO}(\text{OH})n\text{H}_2\text{O}$), ilmenita (FeTiO_3), siderita (FeCO_3) e pirita (FeS_2). Sendo que a hematita é um dos seus minerais mais importantes e mais abundantes.⁷⁶

Muitos seres vivos apresentam uma grande dependência por íon Fe^{2+} , uma vez que o centro de grupos heme, presentes na elemento traçooproteína hemoglobina (o tipo mais comum é a homoglobina A) são constituídos por esse íon. No corpo humano, é encontrado cerca de 3 gramas de ferro e a maior parte está na hemoglobina, substância que transporta oxigênio dos pulmões até os tecidos celulares.^{75,76}

O ferro é utilizado para a produção do aço. Está presente no dia-dia das pessoas, como forma de cadeiras, portões, mesas, panela, palhas de aço, peças de carro, pregos, parafusos, etc. Essa variedade de aplicações se deve ao baixo custo de obtenção do ferro e também pela resistência do elemento traço.⁷⁵

1.4.3.5. Manganês

O manganês é um elemento cinza claro que não ocorre na forma elementar, mas combinado com outras substâncias, como o oxigênio, enxofre e cloro.⁷⁷

O manganês é um nutriente essencial em pequenas quantidades para muitos organismos vivos, incluindo o ser humano, principalmente em processos reprodutivos, manutenção da estrutura óssea e funcionamento do sistema nervoso.⁷⁷

A principal fonte de exposição da população geral é por consumo de

alimentos ou suplementos nutricionais contendo manganês. No entanto, o elemento traço apresenta baixa toxicidade após ingestão.⁷⁷

O manganês e seus compostos podem existir na atmosfera na forma de partículas em suspensão, decorrente da erosão do solo e emissões industriais e vulcânicas. Na água, ocorre nas formas dissolvida e suspensa, que variam conforme pH e potencial redox, e em rios, o elemento é transportado adsorvido a partículas suspensas dos sedimentos.⁷⁷

1.4.3.6. Cromo

O cromo é um elemento traço essencial, mas também pode ser tóxico para o ser humano.⁷⁸

Este elemento químico se encontra naturalmente no solo, é o 7º elemento mais abundante na crosta terrestre, é um elemento acinzentado muito resistente à corrosão.⁷⁸

Em águas superficiais, se encontra na forma solúvel de íon hexavalente(VI), o qual pode ser estável o suficiente para ser transportado no meio aquático.⁷²

Eventualmente, o íon hexavalente que é a forma mais tóxica do cromo, é convertido em íon trivalente e é rapidamente precipitado e adsorvido a partículas suspensas e sedimentos de fundo.⁷⁹

O elemento chega ao sedimento principalmente através das indústrias, fertilizantes, atividades de mineração e lixo urbanos e industriais.⁷⁹

É utilizado principalmente na fabricação de ligas metálicas e estruturas da construção civil, pois confere resistência à oxidação, ao desgaste e ao atrito. Os compostos de cromo possuem diversos usos industriais, como tratamento de couro (curtume), fabricação de tintas e pigmentos, preservantes de madeira e galvanoplastia.⁸⁰

O cromo e seus compostos são encontrados naturalmente em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, animais e plantas.⁸¹

O cromo, especialmente na forma hexavalente, é um importante agente causador de dermatites de contato em trabalhadores, além de ser classificado como carcinógeno.⁸²

Por ser corrosivo, pode causar ulcerações crônicas na pele e perfurações no septo nasal. A ingestão acidental de altas doses de compostos de cromo hexavalente pode causar falência renal aguda caracterizada por perda de

proteínas e sangue na urina.⁸²

A forma trivalente do elemento é um nutriente essencial para o ser humano, atuando na manutenção do metabolismo da glicose, lipídeos e proteínas, e a deficiência do cátion acarreta prejuízo na ação da insulina, no entanto, doses muito altas podem ser prejudiciais.⁸²

1.4.3.7. Cobalto

O cobalto é um elemento branco-acinzentado com propriedades magnéticas similares ao ferro e ao níquel, seus principais estados de oxidação do são +2 e +3, mas, na maioria de seus compostos está disponível em seu estado de valência +2.⁸³

A contaminação ambiental por um determinado elemento reflete tanto a fontes naturais como a atividade industrial que dele se utiliza. O cobalto é um elemento relativamente raro, ocorre na crosta terrestre na faixa de 0,001 - 0,002%, onde é encontrado na forma de minérios tais como a cobaltita (CoAsS), lineaita (Co₃S₄), esmaltita (CoAs₂) e eritrita (Co₃(AsO₄)₂.8H₂O).⁸³

As fontes de exposição ao cobalto são através do solo, água, ar e dieta. Além da aplicação no mercado de consumo, ele é um elemento essencial, em pequenas quantidades, para o ser humano na forma de cobalamina e vitamina B12, sendo que sua ausência pode causar anemia, porém, doses que variam entre 150 e 500 mg Kg⁻¹ de sais de cobalto podem ser letais.⁸³

Entre os efeitos do excesso de cobalto no humano pode-se citar a inflamação da nasofaringe, reações alérgicas na pele e doença pulmonar.⁸³

1.4.3.8. Cobre

O cobre é um elemento bastante distribuído na natureza, encontrado na forma de sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos.⁸⁴

Trata-se, no seu estado puro, de um elemento traço maleável muito utilizado na fabricação de moedas, fios elétricos, tubulações e encanamentos de água quente, e em combinação com outros elementos traço para a produção de ligas e chapas metálicas.⁸⁴

Os compostos de cobre são utilizados na agricultura, no tratamento da água para controle de algas (sulfato de cobre pentahidratado), na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos.⁸⁴

Está naturalmente presente na atmosfera através da dispersão pelo vento e erupções vulcânicas. O cobre elementar não se degrada no ambiente, as principais fontes antropogênicas do elemento são: mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia e incineração de resíduos municipais.⁸⁴

As emissões por uso como agente antiaderente em pinturas e na agricultura, excreção de animais e lançamento de esgotos são menos relevantes. Pode ser encontrados em animais como ostras e mexilhões, plantas, alimentos e bebidas.⁸⁴

As principais formas solúveis de cobre encontradas na água são: Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{HCO}_3)$ e $\text{Cu}(\text{OH})_2$, sendo que a maior parte do cobre(II) dissolvido está na forma complexada e não como íon livre.⁸⁴

O cobre é um elemento essencial aos organismos vivos em pequenas quantidades. A população geral pode ser exposta por inalação, ingestão de alimentos e água ou contato dérmico, porém a principal via de exposição não ocupacional é a oral.⁸⁴

A ingestão de sais de cobre causou vômito, letargia, anemia hemolítica aguda, dano renal e hepático e, em alguns casos, morte. A ingestão de água contendo altas concentrações do elemento traço pode produzir náusea, vômito, dor abdominal e diarreia.⁸⁴

1.4.3.9. Níquel

O níquel é o 24º elemento em abundância na crosta terrestre e suas principais fontes são os minérios na forma de sulfeto de níquel.⁸⁵

O níquel e seus compostos são utilizados em galvanoplastia, na fabricação de aço inoxidável, manufatura de baterias Ni-Cd, moedas, pigmentos, entre outros usos.⁸⁵

Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$. Valores elevados podem ser encontrados em áreas de mineração. Na água potável, a concentração do elemento traço normalmente é menor que $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$, embora a liberação de níquel de torneiras e acessórios possa contribuir para valores acima de 1 mg.L^{-1} .⁸⁵

A maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é a queima de combustíveis, além da mineração e fundição do elemento, fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição, fabricação de alimentos, artigos de

panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados.⁸⁵

Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis. A principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao níquel e não fumante é o consumo de alimentos. A ingestão de elevadas doses de sais causa irritação gástrica.⁸⁵

O efeito adverso mais comum da exposição ao níquel é uma reação alérgica; cerca de 10 a 20% da população é sensível ao elemento traço.⁸⁵

1.4.3.10. Cádmio

O cádmio é considerado um dos elementos traço mais tóxicos. A principal via de absorção é mediante sua inalação em meios industriais, ricos em fumaça e poeiras.⁷³

Uma simples exposição a elevadas concentrações de óxido de cádmio pode causar graves irritações pulmonares ou mesmo a morte. As manifestações patológicas agrupam-se em síndromes mais ou menos complexas. As características mais relevantes são de ordem respiratória e renal.⁷³

Resíduos de elementos traço como cromo, manganês, cádmio e níquel que possuem um alto poder de contaminação e podem chegar facilmente aos lençóis freáticos, contaminando a água que quando ingerida por seres humanos, podem causar diversos tipos de doenças como câncer, ulcerações e suspeita-se que pode afetar o sistema imunológico.⁸⁶

A ação do cádmio nas plantas pode causar o deslocamento de diversos cátions bivalentes que são minerais essenciais para o seu desenvolvimento como o Fe, Zn e Ca. Esse deslocamento pode causar problemas como a desestruturação do filamento de actina, inibição do crescimento celular além de inativar a atividade de algumas enzimas e proteínas.⁸⁶

Zhao *et al.* (2011)⁸⁷ relataram também que a presença de Cd em solo inibe o processo de fotossíntese bem como o crescimento das raízes e absorção e translocação de nutrientes.

1.4.3.11. Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Ocorre naturalmente no ambiente como silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, como sódio e flúor, e como complexos com matéria orgânica.⁸⁸

O elemento é utilizado na indústria automobilística, construção civil, aeroespacial, elétrica e eletrônica, na fabricação de ligas metálicas, utensílios domésticos e embalagens para alimentos. Os compostos de alumínio são usados como antiácidos, antiperspirantes e adstringentes. Os sais de alumínio são também muito utilizados como coagulantes no tratamento da água para reduzir matéria orgânica, cor, turbidez e microrganismos.⁸⁸

As concentrações do alumínio dissolvido em águas com pH próximo a neutro geralmente estão entre 0,001 e 0,05 mg.L⁻¹, mas aumentam para 0,5–1 mg.L⁻¹ em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica, podendo chegar a valores acima de 90 mg.L⁻¹ em águas extremamente acidificadas afetadas por drenagem ácida de mineração.⁸⁸

As principais vias de exposição humana ao alumínio são oral e inalatória. Existe pouca indicação de que o alumínio é tóxico por via oral na exposição por curto prazo, apesar de sua ampla ocorrência em alimentos, água potável e muitas fórmulas antiácidas.⁸⁸

Estudos apontam que a utilização de utensílios e recipientes de alumínio pode aumentar a quantidade do elemento traço nos alimentos. Porém, há controvérsia sobre o risco envolvido nessa prática, pois muitos trabalhos consideram esse aumento não significativo do ponto de vista biológico.⁸⁸

1.4.3.12. Chumbo

O chumbo é relativamente abundante na crosta terrestre, apresentando uma concentração média no solo de 10 a 20 mg.kg⁻¹.⁸⁹

A contaminação ambiental pelo chumbo ocorre principalmente em função do seu emprego industrial.⁸⁹

O sulfeto de chumbo (galena) é o principal mineral de minério de chumbo, o qual representa a mais importante fonte primária e a principal fonte comercial.⁷⁰

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece o chumbo como um dos elementos químicos mais perigosos à saúde humana.⁸⁹

No sedimento, a adsorção do chumbo ocorre principalmente devido a quantidade de matéria orgânica e o tamanho das partículas. A maior parte do elemento traço é retida nos sedimentos e é muito pouco transportado em água de superfície e subterrânea.⁸⁹

O chumbo é liberado ao ambiente por atividade antropogênica, principalmente emissão de fundições e fábricas de baterias. A concentração deste elemento traço no solo geralmente é baixa, porém é maior nas camadas superficiais devido à precipitação atmosférica. A contaminação da água ocorre principalmente por efluentes industriais, sobretudo de siderúrgicas.⁸⁹

Os organismos aquáticos absorvem e acumulam o chumbo presente na água e no sedimento.⁸⁹

O chumbo promove várias alterações bioquímicas, os efeitos da intoxicação crônica pelo chumbo podem ser percebidos em várias partes do organismo. Os principais sistemas prejudicados são: o gastrointestinal, neuromuscular, neurológico, hematológico e renal.⁸⁹

1.4.4. Análise de elementos traço em amostras ambientais utilizando a Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)

A Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) é, atualmente, a principal técnica utilizada para a determinação de elementos traço em amostras ambientais, especialmente, por ser multielementar e possuir limites de detecção apropriados, e ser extremamente sensível.⁹⁰

O princípio básico da ICP-MS é a distinção elementar com base na massa atômica. Esta depende do número de nêutrons presentes nos átomos e os diferentes elementos são constituídos por um, dois ou mais isótopos, e a composição isotópica de cada elemento são bem estudados e definidos.⁹⁰

A espectrometria de massas não diferencia átomos neutros e, por isso, as amostras são excitadas por ionização dos átomos. Após a separação dos íons das espécies neutras e interferentes, a detecção ocorre com base m/z (massa sobre carga).

A Figura 4 mostra o esquema do funcionamento da instrumentação de um ICP-MS.

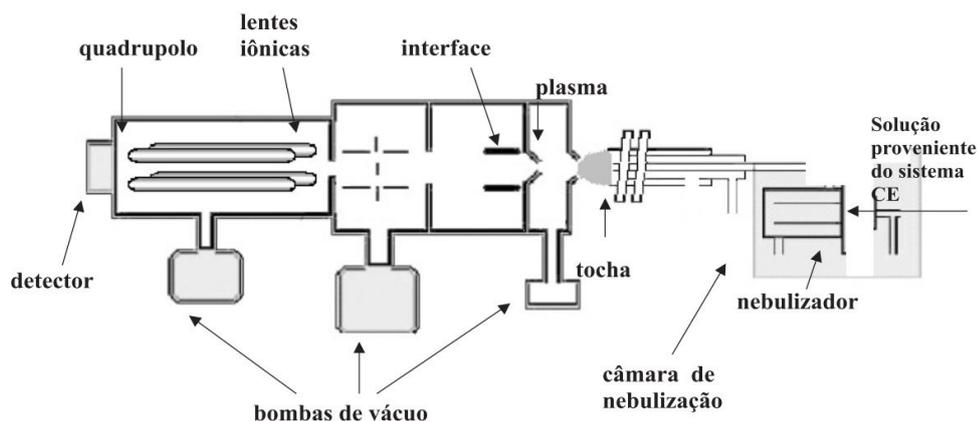


Figura 4. Esquema da instrumentação do ICP-MS. Fonte: [http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Aula-7-ICPOES.pdf]

Na ICP-MS, a fonte de energia para a ionização é um plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP), em que o gás se encontra superaquecido e parcialmente ionizado. A amostra passa, normalmente, por seis etapas durante a análise num ICP-MS:

Conversão da amostra em uma forma adequada para a introdução no plasma (amostra em forma líquida); Ionização da amostra no plasma; Extração dos íons do plasma; Focalização e extração dos íons para o espectrômetro de massas; Separação dos íons no espectrômetro; Contagem dos íons para a quantificação de cada elemento na amostra original, em relação a uma calibração dedicada.⁹⁰

Agora, a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) é uma técnica também muito utilizada para a determinação de elementos traço em amostras ambientais, especialmente, por ser também multielementar como o ICP-MS e possuir limites de detecção apropriados.⁹¹

Essa técnica apresenta vantagens por possuir uma análise simultânea dos elementos, detecção em ampla faixa de concentração, alta precisão, exatidão, média sensibilidade e rapidez.⁹¹

A Figura 5 mostra o esquema do funcionamento da instrumentação de um ICP OES.

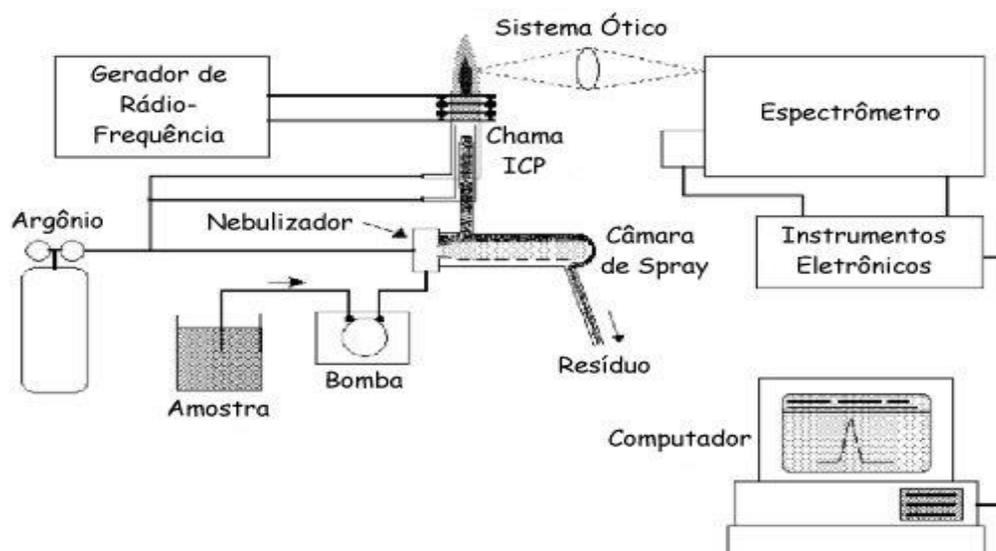


Figura 5. Esquema da instrumentação do ICP OES.

Fonte: [<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Aula-7-ICPOES.pdf>]

A técnica se baseia na propriedade dos átomos ou íons (no estado gasoso) de emitir (quando excitados) radiações com comprimento de onda (λ) característicos nas regiões do UV-Vis (180 – 800 nm).⁹² A amostra líquida é inserida no equipamento através de uma bomba peristáltica, onde é transportada até a câmara de nebulização. Em seguida, a amostra passa pelo nebulizador junto com o gás argônio que a transforma em um aerossol (ou spray). Na câmara de nebulização, as partículas mais densas vão para o descarte, e as mais leves são carregadas até a fonte de plasma. O plasma é um gás parcialmente ionizado, produzido a partir de uma descarga em uma corrente de gás inerte (argônio), chegando a temperaturas de 7.000 a 10.000 K. Os átomos são excitados no centro do plasma e emitem radiação em comprimentos de onda na faixa de UV-Vis.⁹²

As radiações emitidas, após conveniente separação de seus comprimentos de onda por sistemas ópticos, têm suas respectivas intensidades medidas por meios de detectores de radiação específicos e correlacionadas às concentrações correspondentes, através de curvas de calibração obtidas pela medição prévia de padrões certificados de referência.⁹²

1.1. Toxicidade - Bioensaio de fitotoxicidade com *Lactuca Sativa*

A toxicidade está relacionada com a detecção, composição química e ação biológica de elementos tóxicos. Pode ser considerada como a capacidade de ser prejudicial, causando danos grave ao organismo.⁹³

A via de administração, duração e frequência de exposição são os fatores mais importantes que influenciam a toxicidade ao organismo mesmo ele, sendo encontrado no interior das células, não está livre de sofrer constantes alterações e mutações.⁹³

Os testes de toxicidade usados para analisar a qualidade ambiental representam uma alternativa para complementar as análises químicas, são indispensáveis para verificar as reações dos organismos vivos à poluição. Testes em que se utilizam plantas superiores têm sido utilizados em estudos sobre a fitotoxicidade de águas e sedimentos contaminados, são considerados eficientes para a avaliação e monitoramento da toxicidade de poluentes.⁹⁴

O efeito fitotóxico tem relação com processo de germinação e desenvolvimento da raiz. Nos dias iniciais da germinação, o embrião da semente pode ter sua fisiologia e morfologia modificada negativamente por fatores externos (ambientais, substâncias tóxicas) e fatores internos (dormência, hormônios inibidores), interferindo no desenvolvimento e crescimento normal da planta.⁹⁴

A análise da germinação (AG) e do crescimento radicular (CR) é rápida, barata, confiável e baseia-se em quantificar as sementes germinadas e mensurar a alongação radicular durante a exposição a poluentes tóxicos, sendo um dos testes mais utilizados para avaliar o potencial toxicológico de substâncias.⁹⁴

A análise da taxa de germinação da semente e comprimento da raiz pode ser relacionada com a toxicidade, quando mantidas as mesmas condições de germinação do teste-controle, avaliando o potencial tóxico de um composto e sua influência no processo de germinação.⁹⁵

Segundo COELHO (2017)⁹⁵, em alguns casos, a concentração das substâncias tóxicas ou efluentes pode não ser suficiente para inibir a

germinação, mas se a concentração for alta o suficiente, pode comprometer o processo de crescimento da radícula.⁹⁵

Desta forma, o efeito fitotóxico observado na germinação e alongamento da radícula aponta boa sensibilidade e se complementam no que se refere aos efeitos biológicos em organismos vegetais.⁹⁵

Estudos como o de Rodrigues *et al.* (2013)⁹⁴ utilizaram a *Lactuca Sativa* como bioindicador de toxicidade em teste de fitotoxicidade em água e sedimento de córrego urbano.

A espécie *Lactuca sativa* (alface) está entre os organismos-teste mais empregados para avaliar a fitotoxicidade e a citogenotoxicidade de efluentes domésticos e industriais, sendo esta espécie recomendada por agências internacionais para tal finalidade.⁹⁴

1.2. Análise multivariada de dados

A análise de componentes principais (Principal Component Analysis, PCA) é um dos métodos mais importantes utilizados na quimiometria é a base para vários métodos de reconhecimento de padrões, classificação e calibração multivariada.⁹⁶

A PCA é utilizada normalmente com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados, encontrar similaridades entre amostras, detectar amostras anômalas (outliers) e reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados. Matematicamente, na PCA, a matriz X é decomposta em um produto de duas matrizes, denominadas de escores (T) e loadings (P), mais uma matriz de erros (E), como na Equação (7):

$$X = TP^T + E \quad \text{Equação (7)}$$

O agrupamento das amostras define a estrutura dos dados através de gráficos de scores e loadings. A primeira componente principal (PC1) é traçada no sentido da maior variação no conjunto de dados; a segunda (PC2) é traçada ortogonalmente à primeira, com o intuito de descrever a maior porcentagem da variação não explicada pela PC1 e assim por diante; Os scores fornecem a

composição das PCs em relação às amostras, enquanto os loadings fornecem essa mesma composição em relação às variáveis.⁹⁷

Como as PCs são ortogonais, é possível examinar as relações entre amostras e variáveis através dos gráficos dos scores e dos loadings. O estudo conjunto de scores e loadings ainda permite estimar a influência de cada variável em cada amostra.⁹⁷

O número de componentes principais a ser utilizado no modelo PCA é determinado pela porcentagem de variância explicada. Desta forma, seleciona-se um número de componentes de tal maneira que a maior porcentagem da variação presente no conjunto de dados originais seja capturada.⁹⁷

A Análise de agrupamento hierárquico (HCA) identifica grupos de objetos baseado em similaridade, onde, a similaridade pode ser entendida como distância entre objetos no espaço, o seu resultado normalmente é visualizado em uma árvore de clusters ou dendograma.⁹⁶

O emprego de métodos estatísticos como análise de componentes principais (PCA) e a análise hierárquica de agrupamentos (HCA) tem sido utilizado com frequência em diversos trabalhos reportados na literatura como ferramenta quimiométrica útil para extrair um maior número de informações, através de análises de parâmetros físico químicos, microbiológicos e elementos metálicos em amostras superficiais, subterrâneas, chuva e minerais.⁹⁶

1.3. Bacia Hidrográfica do Rio Jucu

O rio Jucu é um dos principais rios para o abastecimento da grande Vitória/ES, ele abastece 25% da população do Espírito Santo.⁹⁸

O braço norte do rio nasce no distrito de São Paulinho do Aracê e o braço sul nasce um pouco atrás da Pedra Azul. Os dois braços se encontram na divisa dos municípios de Domingos Martins e Viana, e seguem até desaguar no oceano atlântico, na Barra do Jucu, em Vila Velha. O braço sul apresenta uma extensão de 166 km e trecho conhecido como braço norte apresenta 123 km e trecho desde a confluência dos braços norte e sul até a foz têm 43 km.⁹⁸

Sua bacia hidrográfica pode ser vista na Figura 6, ela estende-se de uma área de drenagem aproximada de 2200 km², na qual estão situados os municípios de Domingos Martins e Marechal Floriano e parte dos municípios de Viana, Cariacica, Vila Velha e Guarapari.⁹⁸

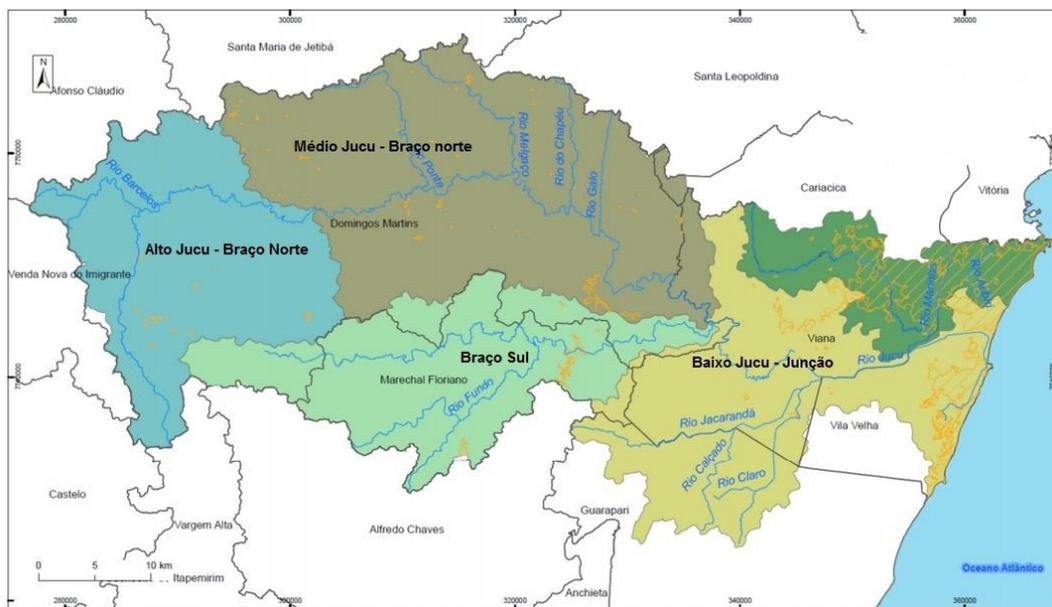


Figura 6. Bacia Hidrográfica do Rio Jucu. Fonte: AGERH⁵

Em uma avaliação realizada no braço sul do rio Jucu, por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, no período de Julho de 2007 a março de 2008 em cinco estações de coleta, foram medidos parâmetros físico químicos, como DBO, DQO, fósforo total, nitrogênio total, sólidos totais, turbidez, pH, condutividade, OD, temperatura e transparência, onde todos se encontraram de acordo com os limites estabelecidos pelo CONAMA.⁹⁹

Os valores de sólidos totais avaliados em 2007/2008 para o ponto que representa o local onde se tem o lançamento de efluentes do município de Marechal Floriano e do Rio Fundo, foi maior em comparação aos outros pontos, devido ao lançamento de esgoto doméstico *in natura* neste local.⁹⁹ Confirmando nos testes microbiológicos, de coliformes termotolerantes, que na estação onde recebe cargas de efluentes de Marechal e Rio Fundo estava acima do limite estabelecido pelo CONAMA.

E em avaliações no período de 2008 e 2009 estudos de Gardiman e Simoura²³, utilizando o índice de qualidade da água (IQA) classificou suas águas como boa. E nesse mesmo período na foz do rio Jucu apresentou um nível mais

elevado de coliformes termotolerantes ¹⁰⁰ e no ponto de coleta em Marechal Floriano continuou acima do limite.¹⁰¹

E em 2010, seis pontos monitorados pela AGERH (Agência Estadual de Recursos Hídricos) no rio Jucu, apresentou somente os parâmetros de fósforo total e coliformes com elevados percentuais de incompatibilidade.¹⁰²

O rio Jucu sofreu mudanças desde 2010, isto é, devido a sazonalidade do rio, que é uma variação natural do ambiente, e também devido à seca que o estado enfrentou em 2015 e 2016.^{103,104} Onde neste período houve uma baixa da vazão no rio Jucu, devido à falta de chuva, aumentando assim a concentração da poluição do rio, colocando em risco a qualidade de vida dos animais aquáticos, afetando os seres humanos, a paisagem do rio e destruindo a biodiversidade local.¹⁰⁵

Além disso, no rio Jucu ocorrem práticas de esporte como a tradicional descida ecológica do Rio Jucu, que acontece há cerca de 30 anos em Vila Velha, que no ano de 2016 foi cancelada devido ao nível alto de esgoto nas águas.¹⁰⁶

A vazão crítica do rio Jucu é de 5.292 L/s, e em 2016 ela se encontrava com 3.054 L/s, neste período o rio deixou de se encontrar com o mar. No início de 2017 a vazão era de 3.687,19 L/s e no meio do ano a vazão do rio aumentou, apresentando valores de 11.507,00 L/s. No início do ano de 2018 a vazão do rio chegou apresentar 73.059 L/s. Atualmente o rio Jucu apresenta vazão de 13.842,00 L/s, estando acima do seu limite crítico e em um quadro bem diferente de três anos atrás.¹⁰⁷

Em períodos de chuvas fortes o rio sofre com a erosão devido à falta de diligência com a margem, o que logo provoca o assoreamento, levando águas de estradas não pavimentadas para o rio, deixando desta forma o rio muito sedimentado, elevando o nível da turbidez, que impede até a capturação da água para tratamento.¹⁰⁸

O uso do solo do entorno do rio Jucu é predominantemente agropecuário. Atualmente a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) é quem monitora a qualidade das águas superficiais do rio Jucu, em termos de parâmetros físico-químicos e biológicos, porém não analisa elementos traço em águas superficiais e sedimentos.⁵

De acordo com o último relatório da AGERH de síntese do Rio Jucu a carga orgânica total provenientes de fontes difusas e pontuais são maiores nos locais após a região de Viana até a foz do Rio (conhecida como baixo Jucu), e menores nos pontos localizados no braço e no braço sul.⁵

A carga orgânica proveniente de animais (23,86 ton/dia) são majoritariamente 80,6% de aves e 12,4% de bovinos e bubalinos, e a carga orgânica proveniente de fontes pontuais (22,1 ton/dia), como esgoto sanitário e indústrias, representam 97% e 3% respectivamente do lançamento.⁵

Uso do solo do entorno do rio Jucu tem-se que 41,6% da bacia é de área florestal, e em segundo lugar com 17,8% é a cultura agrícola (sendo maiores no braço sul e no alto Jucu e em terceiro lugar tem-se a pastagem com 17,6% da bacia sendo maior no baixo Jucu (região após Viana).⁵

Atualmente, a AGERH monitora os seguintes parâmetros de qualidade da água: condutividade, salinidade, DBO, OD, clorofila-a, surfactantes, amônia (NH₃), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrato (NO₃), nitrito (NO₂), DQO, fósforo total, nitrogênio total, sólidos totais, temperatura do ar, temperatura da água, turbidez, pH e coliformes (NMP/100mL), totalizando 19 variáveis.¹⁰⁹

Por sua vez, a CESAN monitora diversos parâmetros, com destaque para os agrotóxicos Glifosato e 2,4D, os elementos traço Pb, Al, Fe, Hg (pela técnica de absorção com chama, que é pouco sensível), além de parâmetros como Coliformes totais, *E. Coli*, DBO, OD, fósforo, e nitrato (NO₃).¹⁰⁹

Conforme dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, da Embrapa (2006)¹¹⁰ os tipos de solos predominantes na área de abrangência da bacia do rio Jucu são cambissolo háplico, latossolo vermelho-amarelo e os neossolos flúvicos, litólicos e quartzarênicos.

O latossolo vermelho-amarelo é o mais representativo da região em estudo do rio Jucu, pois abrange quase toda a bacia. Estende-se desde o extremo Oeste de Domingos Martins, abarcando quase todo este município, assim como a maior parte do município de Viana e grande parcela dos municípios de Marechal Floriano, Guarapari e Vila Velha.⁶²

E devido ao grande uso da área do entorno do rio Jucu, com o aumento da poluição ao passar dos anos, e da importância de suas águas para o abastecimento, prática de esporte e fonte de trabalho para muitas pessoas. Realizar uma avaliação das águas deste rio e poder exercer uma comunicação de forma aberta com a população é de suma importância, e isto é a principal motivação da realização trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água do Rio Jucu por meio de parâmetros físico-químicos, microbiológico e toxicológicos, aplicando o índice de qualidade de água e determinando a presença de elementos-traço nas matrizes água e sedimento.

2.2. Objetivos específicos

(i). Avaliar as variáveis físico-químicas, microbiológicas e biológicas das águas do rio Jucu, correlacionando os resultados com as legislações de padrão de qualidade das águas.

(ii). Determinar o Índice de Qualidade da Água (IQA).

(iii). Quantificar os elementos traço: Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, Cd, Co, Cr, Cu, Pb em água e sedimento, relacionando os resultados em água com o teste de toxicidade em *Lactuca Sativa* e com o IQA. E os resultados de sedimento com a matéria orgânica.

(iv). Correlação dos resultados físico-químicos e das estações de coleta, utilizando análise de componentes principais e agrupamento de cluster.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A área de estudo localizada no Rio Jucu-ES abrange seis estações amostrais, onde foram coletadas amostras de águas superficiais e de sedimento de margem (Figura 7). As coletas foram realizadas em duas campanhas, a 1ª campanha foi feita em 31 de agosto de 2017, e a 2ª campanha foi feita em 13 de março de 2018.

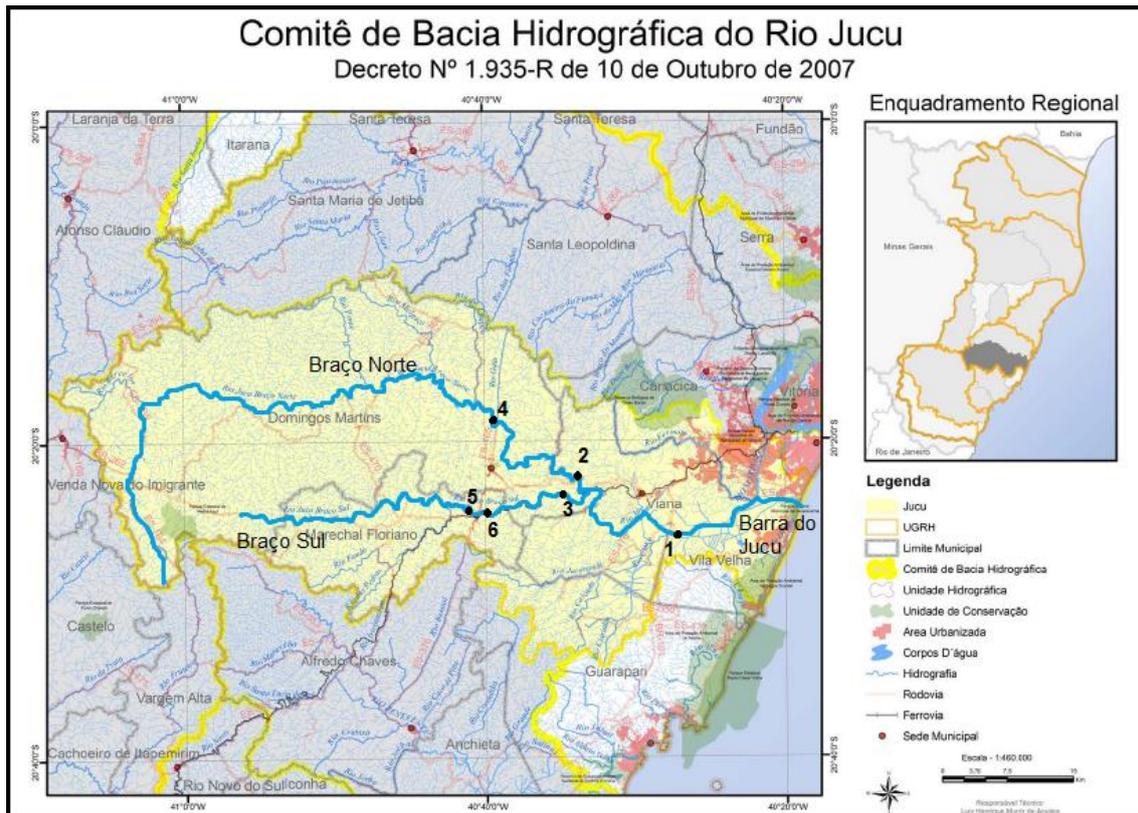


Figura 7. Mapa das estações do rio Jucu.¹¹⁰

As estações 1, 2, 3, 5 e 6 estão classificados como águas de classe 2 e a estação 4 como classe 1 de acordo com a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH). Na Tabela 4, encontram-se a localização em termos de coordenadas geográficas (UTM) e as descrições das estações (O sistema utilizado foi o datum: Córrego Alegre, zona 24K). E na Figura 8, estão as imagens dos locais de coleta.

Tabela 4. Localização das estações monitoradas.

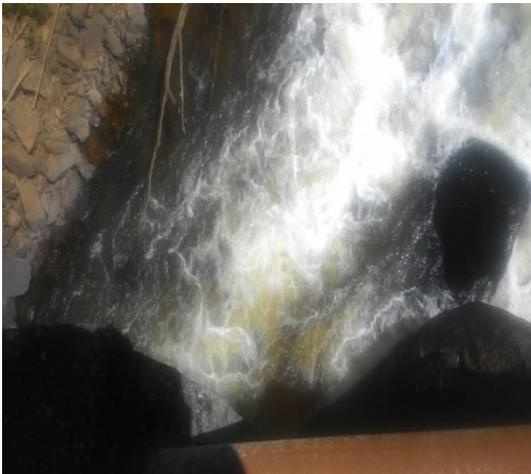
Estações	Coordenada (x) Longitude	Coordenada (y) Latitude	Descrição
JUC01	-20.432013	-40.456769	Ponto após a junção dos braços norte e sul, próximo à BR 101, Viana/ES.
JUC02	-20.376495	-40.560023	Rio Jucu Braço Norte: Estação amostral localizada no município de Viana/ES. Área rural com vegetação nativa às margens, ponto após ter recebido efluentes do município de Domingos Martins/ES.
JUC03	-20.390485	-40.577427	Rio Jucu Braço Sul, localizado em Domingos Martins, após receber efluentes de Marechal Floriano/ES.
JUC04	-20.316488	-40.665572	Rio Jucu Braço Norte, localizado no município de Domingos Martins, próximo a ES-465.
JUC05	-20.411641	-40.681931	Rio Jucu Braço Sul: Localizada próximo à BR 262, antes de receber efluentes do município de Marechal Floriano/ES.
JUC06	-20.407381	-40.671355	Rio Jucu Braço Sul: Estação amostral localizada dentro do perímetro urbano do município de Marechal Floriano/ES, com pouca cobertura vegetal em seu leito.



Ponto JUC01 -Viana/ES



Ponto JUC02 – Braço norte
Domingos Martins/ES



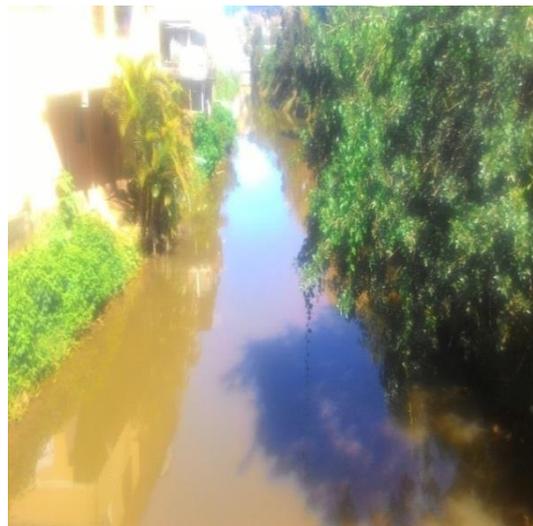
Ponto JUC03 – Braço Sul
Domingos Martins/ES



Ponto JUC04 – Braço Norte
Domingos Martins/ES



Ponto JUC05 -Braço Norte
BR 262, Marechal Floriano/ES



Ponto JUC06 – Braço norte
Dentro da cidade de Marechal Floriano/ES

Figura 8. Estações de Coletas do rio Jucu.

As coletas da 1ª campanha foram feitas em agosto de 2017 que é período de inverno na região sudeste do Brasil, considerado um período de poucas chuvas.¹¹¹

Já, as coletas da 2ª campanha, foram realizadas em março de 2018, que é o período de verão, nesse período os meses são considerados como chuvosos.¹¹¹

3.1. Parâmetros Físico-Químicos

3.1.1. Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Salinidade, pH, Turbidez e Sólidos dissolvidos totais.

Durante as amostragens foram aferidos a temperatura da água (°C | com precisão de ±0,3 °C) bem como os teores de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹ | com precisão de ± 0,2 mg.L⁻¹), a condutividade elétrica (µS cm⁻¹ | com precisão de 0,1%), a salinidade (ng L⁻¹ | com precisão de ± 3 ng L⁻¹) a turbidez (UNT | com precisão de ± 5%), sólidos dissolvidos totais (mg.L⁻¹ | com precisão de ± 5 mg.L⁻¹) e o pH, estes foram determinados a partir do medidor multiparâmetro Water Quality Cheker U-50 da marca Horiba (HORIBA Advanced Techno, Kyoto, Japan), em subsuperfície.

3.1.2. Sólidos

Os sólidos totais são obtidos pela quantificação do extrato após evaporação da amostra (in natura).

Foram colocados em um béquer de vidro 30mL de amostra e levados a estufa por 1h, em seguida foi retirada e levada ao dessecador até alcançar a temperatura ambiente, após esse período foi pesado e anotado a tara do béquer, e o peso do béquer com a amostra. Pela equação (5) tem-se a quantificação dos sólidos totais (APHA, 2005)¹¹²:

$$ST (mg.L^{-1}) = \frac{(Amostra + b\acute{e}quer) - b\acute{e}quer (g)}{Volume\ de\ amostra(L)} \quad (\text{Equa\c{c}\~ao\ 5})$$

3.1.3. Nitrogênio Total

O nitrogênio total foi analisado seguindo o procedimento de Kjeldahl, inicialmente os seguintes reagentes foram preparados:

1. Reagente de digestão: 134,0 g K_2SO_4 e 7,3 g $CuSO_4$ em 800 mL de água, adicionar 134 mL de H_2SO_4 diluído para 1000 mL.
2. Reagente NaOH e Tiosulfato de Sódio: 500 g de NaOH e 25 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ em 1000 mL de água destilada.
3. NaOH 6 mol.L⁻¹: 240,0 g de NaOH em 1000 mL de água destilada estocado em frasco de polietileno.
4. H_2SO_4 0,04 mol.L⁻¹: 1,0 mL de H_2SO_4 em 1000 mL de água destilada

As amostras foram digeridas utilizando 10 mL do reagente de digestão em 50 mL de amostra em tudo digestor. O aquecimento foi feito por 30 minutos, até a mudança de coloração de transparente para verde claro em potência máxima (375 a 385°C).

Após o resfriamento foram adicionados 50 mL de água para dissolução e em seguida adicionou-se 10 mL de reagente Tiosulfato Hidróxido de sódio.

No processo de destilação é importante o controle a taxa de geração de vapor até ebulição do conteúdo na unidade de destilação para que não ocorra nenhum escape de vapor na extremidade do condensador e nem borbulhamento do frasco receptor.

Foram destilados e coletados 30 a 40 mL do destilado sob superfície de 5 mL de solução adsorvente (ácido bórico) contida em erlenmeyer de 125 mL.

O preparo da curva de calibração foi feito igual ao preparo da amostra, porém utilizando soluções padrões de biftalato de potássio (NH_4Cl 10 mg.L⁻¹: 0,382g de NH_4Cl anidro seco à 100°C em 1000 mL de água destilada). (APHA, 2005)¹¹²

A Tabela 5 traz os valores da curva de calibração do nitrogênio.

Tabela 5. Pontos da curva de calibração do nitrogênio.

Ponto	N (mg.L ⁻¹)	H ₂ O destilada (mL)	Solução Estoque N 10 mg.L ⁻¹ (mL)
01	0	50	0
02	0,05	49,75	0,25
03	0,10	49,5	0,50
04	0,20	49	1,0
05	0,50	47,5	2,5
06	1,0	45	5,0
07	2,0	40	10
08	3,0	35	15
09	4,0	20	20
10	5,0	25	25

3.1.4. *Escherichia Coli*

Em um frasco autoclavado foram adicionados 10mL de amostra, 90mL de água peptonada, e depois adicionou 2,3531g de cultura (meio genérico para colimetria). A solução foi transferida para uma placa de contagem que foi selada, e incubada em estufa bacteriológica regulada à 37±0,5 °C por 18horas. Após esse período foi realizada leitura das placas que continham 97 cavidades, as cavidades que apresentavam fluorescência na presença da luz ultravioleta, eram positivas à presença de *E. Coli*. Os resultados de *E. Coli* são expressos em NMP/100mL, obtido na tabela de combinação de cavidades positivas. (APHA, 2005)¹¹²

3.1.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)^{5.20}

O princípio do método baseia-se na incubação da amostra dentro de uma garrafa âmbar sob quantidade suficiente de microrganismos e nutrientes a temperatura controlada de 20°C±1°C e que por meio de agitação faz com que o O₂ presente na câmara de ar de dissolva no líquido.

Os microrganismos respiram este oxigênio dissolvido na amostra durante

o processo de degradação da matéria orgânica, exalando CO_2 , que é absorvido por NaOH ou LiOH contido em um reservatório de borracha, produzindo uma diferença de pressão na garrafa, que é medida pelo sensor Oxitop, cujo sistema contém este instrumento digital.

Inicialmente foram preparados os seguintes reagentes:

1. Solução padrão de fosfato $1,5 \text{ mol.L}^{-1}$: 213 g de Na_2HPO_4 em água destilada, aferido o pH para 7,2 com NaOH e completado para 1000 mL.
2. Solução de Cloreto de Amônia $0,71 \text{ mol.L}^{-1}$: 38,2 g de NH_4Cl em água destilada, aferido o pH para 7,0 com KOH e completado para 1000 mL.
3. Solução de Cloreto de Cálcio $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$: 27,7 g em 1000 mL de água destilada.
4. Solução de Sulfato de Magnésio $0,41 \text{ mol.L}^{-1}$: 101 g de MgSO_4 em 1000 mL de água destilada.
5. Solução Cloreto Férrico $0,018 \text{ mol.L}^{-1}$: 4,84g de FeCl_3 em 1000 mL de água destilada.
6. Solução de Hidróxido de Potássio 6 mol.L^{-1} : 336 g de KOH em 700 mL de água destilada e diluir para 1000 mL.
7. Solução Reagente:

Foram transferidos para um balão de 100 mL:

- 2,5 mL de Solução Tampão Fosfato
- 0,65 mL de Solução Cloreto de amônio
- 1,0 mL de Solução Cloreto de Cálcio
- 0,220 mL de Solução de Sulfato de Magnésio
- 0,100 mL de Solução de Cloreto Férrico (sempre acrescentado por último)
- Diluição para 100 mL com água destilada.

Deve-se adicionar um volume da amostra de acordo com a tabela abaixo, dependendo da quantidade de oxigênio esperado em mg.L^{-1} , no vidro âmbar do OxiTop ambientado com a amostra.

O volume de amostra utilizado para águas doces de classe 1 e 2 foram de 250mL (Tabela 6). Logo, foram colocados na garrafa de vidro âmbar 250mL de amostra, uma barra de agitação magnética e 2,0 mL de Solução Reagente. Em seguida foram adicionadas duas pastilhas de NaOH dentro da “borrachinha” que é usada para vedar o vidro.

Os vidros foram fechados e colocados sobre a mesa de apoio OxiTop,

então logo após foi pressionado S+M por 2 segundos para zerar os marcadores e iniciar nova marcação. Em seguida as amostras foram incubadas a 200°C por 5 dias, sob agitação constante.

A visualização dos valores armazenados durante os 5 dias foi feita apertando o botão S.

Observação: Se a DBO der acima de 1000 mg.L⁻¹, deve ser feita uma diluição da amostra. (APHA, 2005)¹¹²

Tabela 6. Valor de DBO esperado em relação ao volume de amostra e o fator de escala do Oxitop.

Volume da amostra (mL)	DBO esperado	Fator de escala Oxitop
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
95	0-800	20,1
43,5	0-2000	50,3
22,7	0-4000	100,5

Para a encontrar o valor de DBO o cálculo realizado está na Equação 6.

$$DBO (mg.L^{-1}) = \text{valor encontrado} \times \text{fator de escala do Oxitop} \quad (\text{Equação 6})$$

3.1.6. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da DQO se baseou na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio.

As amostras de água foram digeridas em um termo reator por 2 horas a 150°C, utilizando-se uma mistura de dicromato de potássio em meio fortemente ácido, na presença de uma solução catalisadora (sulfato de prata – ácido sulfúrico concentrado).

Depois de resfriar à temperatura ambiente, as amostras foram analisadas no espectrofotômetro.

A princípio foram realizados o preparo dos seguintes reagentes:

1. Solução de digestão: pesou-se 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potássio) padrão primário, seco previamente por 2h a $103^\circ C$, adicionou 500 mL de água destilada e 167 mL de H_2SO_4 concentrado, em seguida adicionou 33,3 g de $HgSO_4$, deixou resfriar e após diluiu para 1000mL e estocou em vidro âmbar.
2. Reagente Ácido Argênico: misturou 10,065 g de $AgSO_4$ em 1,0 L de H_2SO_4 , e deixou em repouso por 2 dias

O preparo da amostra foi realizado em um tubo de digestão de borossilicato, onde colocou: 2,5 mL da amostra, 1,5 mL de solução de digestão de dicromato de potássio, 3,5 mL de solução de ácido argênico (solução catalisadora).

Logo após, a digestão da amostra foi feita em um termo reator da HACH por 2h a $150^\circ C$. Terminado este período as amostras foram deixadas em descanso para resfriar e formar precipitado. A leitura da amostra foi feita em um espectrofotômetro em um comprimento de onda de 600 nm.

O branco foi feito igual ao preparo da amostra, porém utilizando 100 mL de água destilada.

A curva de calibração foi preparada igual ao preparo da amostra, porém utilizando soluções padrões de biftalato de potássio (Padrão de Biftalato de Potássio: 0,425 g de $C_8H_5O_4K$, seco previamente por 2h a $103^\circ C$ e diluir até 1000 mL com água destilada e estocar em frasco âmbar a $4^\circ C$)

Obs: A solução possui uma demanda teórica de 1,176 mg de O_2/mg de sal, logo a demanda teórica da solução é 500 mg.mL^{-1} ($1,176 \times 425 \text{ mg}$) ou $DQO = 500 \text{ } \mu\text{g.mL}^{-1}$.

A Tabela 7 mostra a relação da construção da curva de calibração para DQO.

Tabela 7. Pontos da Curva Padrão da DQO.

Ponto	DQO ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	H_2O destilada (mL)	Sol. Estoque DQO 500 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (mL)
01	0	100	0
02	25	90	5
03	100	80	20
04	200	60	40
05	350	30	70
06	500	0	100

A concentração da demanda de O₂ da amostra, em mg.L⁻¹, foi obtida pela interpolação dos dados obtidos de uma curva de calibração. (APHA, 2005)¹¹²

3.1.7. Matéria Orgânica nos sedimentos

A matéria orgânica foi determinada nas amostras de sedimento, pelo método mufla estabelecido por Goldin (1987) com as seguintes modificações: secagem prévia das amostras em estufa a 105°C, por um período de 24 h, visando eliminar toda a água presente no sedimento.

Após esse período, pesou-se aproximadamente 0,500g de amostra nos cadinhos de cerâmica, que foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 550 °C, por 3 h. Em seguida, o conjunto (cadinho+resíduos) foi acondicionado em dessecador até o resfriamento e em seguida foi pesado.

O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105°C a 550 °C, conforme a Equação 7:

$$MO (\%) = \frac{(P - (T - C)) \times 100}{P} \quad (\text{Equação 7})$$

em que P = peso da amostra (g) seca; C = tara do cadinho (g); e T = peso da cinza + cadinho (g). (CARMO, 2012)¹¹⁹

3.2. Índice de Qualidade de água

A análise do IQA foi feita utilizando o software QualiGraf_2018. ¹¹⁴

3.3. Elementos traço

Para a quantificação dos elementos em água e sedimento: Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn, P e Pb, utilizou frascos de polietileno previamente descontaminados com sabão neutro, detergente EXTRAN (5%) e solução de Ácido nítrico (HNO₃ 15% (v/v)) respectivamente. As amostras foram acidificadas a 2% em campo com ácido nítrico concentrado destilado e posteriormente

armazenadas e refrigeradas em caixas térmicas.¹¹⁵

Utilizando a técnica ICP OES foram avaliados o Al, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, P e Zn, e utilizando a técnica ICP-MS foram avaliados o Ni, Cd, Co, Cu e Pb.

Procedimento para a determinação dos elementos traço em água pelo ICP OES e ICP-MS:

Foram determinados os elementos traço pseudo-total em água. As amostras de água foram filtradas com papel filtro de faixa azul e após submetidas para análise.

Procedimento para a determinação dos elementos traço em sedimento por ICP OES:

As amostras de sedimento foram previamente secas em estufa a 60°C até a massa permanecer constante, após isso foram pesados aproximadamente 1,0 g de cada amostra de sedimento em erlenmeyer de 125mL, a digestão das amostras foram feitas adicionando 9mL de ácido nítrico destilado e 3mL de ácido clorídrico destilado. O método de digestão utilizado foi o EPA 3050B modificado, em que as amostras são colocadas na chapa por 15 minutos a 100°C. Após a digestão foi feita diluição para 50mL, e quando submetidas à análise diluiu-se mais 3 vezes a amostra. Esse procedimento foi realizado em triplicata.

A quantificação dos elementos traço Al, Ca, Fe, Mg, Mn, P e Zn, foi feita utilizando a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), o equipamento usado foi o Espectrômetro de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado da Thermo Scientific, modelo iCAP 6000 (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, Inglaterra) com configuração de visão dupla (axial e radial), equipado com câmara e nebulizador apropriado para cada matriz e um dispositivo de carga de injeção (CID) como detector, todos gerenciados pelo software iTEVA (Thermo Fisher Scientific, Cambridge, Inglaterra); A Tabela 8 mostra as condições operacionais do ICP OES, e a Tabela 9 os comprimentos de onda dos elementos analisados.

Tabela 8. Condições operacionais do ICP OES.

Parâmetro	Condição
Potência do gerador de RF (W)	1200
Vazão de Ar (Plasma) (L min ⁻¹)	12
Vazão de Ar (gás Auxiliar) (L min ⁻¹)	0,5
Vazão de Ar (Nebulizador) (L min ⁻¹)	0,65
Tempo de transporte da amostra (s)	60
Velocidade da bomba peristáltica na análise (rpm)	80
Tubo injetor (mm)	2,0
Câmara de nebulização	Câmara ciclônica
Nebulizador	Concêntrico Meinhard®

Tabela 9. Elementos analisados por ICP OES.

Elementos analisados	Comprimento de onda (nm)	Comprimento de onda (nm) de confirmação	Linhas Espectrais
Al	394,401 Axial	308,215 Radial	Atômica
Ca	317,933 Radial	315,887 Radial	Iônica
Cd	214,438 Axial	228,802 Axial	Iônica
Cr	267,716 Axial	205,560 Axial	Iônica
Fe	259,940 Radial	259,837 Radial	Iônica
Mg	279,079 Radial	-	Iônica
Mn	257,610 Radial	-	Iônica
Zn	206,2 Axial	-	Iônica
P	214,914 Axial	-	Atômica

Procedimento para a determinação dos elementos traço em sedimento por ICP-MS:

E as amostras de sedimento foi previamente seca em estufa a 60°C até a massa permanecer constante, após isso foi peneirado em peneira <0,063mm. Foram pesados em tubos para decomposição aproximadamente 0,250g de cada amostra de sedimento e adicionados 15mL de ácido nítrico. Posteriormente foi digerido utilizando aquecimento por radiação micro-ondas o método de digestão utilizado foi o EPA 3051A. Após a digestão foi feita diluição para 35mL, e quando submetidas à análise as amostras foram diluídas 100 vezes. Esse procedimento foi realizado em triplicata.

A estufa utilizada foi da marca Ethik Technology (Brasil), modelo 402-D, a balança analítica da marca Sartorius (Brasil), modelo ED224S com precisão de $\pm 0,0001g$, e o forno micro-ondas utilizado foi da marca Anton Paar (Áustria), modelo Multiwave GO.

A quantificação dos metais Cd, Co, Cu, Ni e Pb foi feita utilizando a espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), equipamento Nexlon 300D, Perkin Elmer (EUA). O gás argônio foi utilizado para a manutenção e geração do plasma, aspiração da amostra e como gás auxiliar. As condições operacionais podem ser visualizadas na Tabela 10.

Tabela 10. Condições operacionais do ICP-MS

Parâmetro	Condição
Potência da Radiofrequência (W)	1500,00
Vazão do gás de nebulização (L min ⁻¹)	0,98
Vazão do gás auxiliar (L min ⁻¹)	1,20
Vazão do gás de plasma (L min ⁻¹)	16,00
Taxa de aspiração da amostra (mL min ⁻¹)	0,5
Padrão Interno	Rh

3.4. Ensaaios com *Lactuca sativa*

3.4.1. Análise do índice de germinação (GI) e índice de crescimento radicular (CR)

As sementes de *L. Sativa* foram expostas às amostras de água em placas de petri, a uma temperatura controlada de 24°C e por um período de 48h, após esse tempo o índice de germinação e o de crescimento radicular foram obtidos.

Foram analisadas seis amostras de água e uma amostra do controle positivo (trifluralina 0,84g.L⁻¹, que é um herbicida que inibe o desenvolvimento da planta) e outra do controle negativo (água destilada).

Em cada placa de petri colocou-se 30 sementes de *L.sativa*, e para cada amostra foram feitas em 5 repetições, dando um total de 1.200 sementes analisadas.

O teste de médias utilizado foi o de Tukey, a 5% de significância ($p>0,05$).¹¹⁶

3.5. Análise multivariada de Dados

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para quantificar o significado de variáveis que explicam os agrupamentos observados e padrões das propriedades distintas das estações de monitoramento.

O programa computacional utilizado nesse trabalho foi o Matlab 7.9.0®. Inicialmente no programa foram abertas as matrizes das amostras (matriz 15x13) e depois uma matriz com as variáveis (matriz 1x15), foi utilizada a função `pca model` para a construção do modelo `pca`.

O pré-processamento usado foi o auto escalonamento, onde a matriz é centrada na média dos valores subtraindo-se o valor de cada elemento da matriz da média de cada variável (coluna) e, em seguida, é normalizada pelo desvio padrão dividindo o valor de cada elemento centrado na média pelo desvio padrão da variável. O propósito desta transformação é permitir que todas as variáveis possam exercer influências equitativas nos resultados, além de torná-las adimensionais.

Neste estudo, em HCA a métrica utilizada foi a distância euclidiana, como medida de semelhança e como linkage (formas de agrupamentos de dados) o método de Ward, que é o mais indicado para distâncias euclidianas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estações de coletas desse trabalho estão localizadas na região serrana do estado do Espírito Santo, com exceção do primeiro ponto (JUC01) que se localiza em Viana, região metropolitana de Vitória.

Os dados de precipitação acumulada foram oferecidos pelo Instituto nacional de meteorologia (INMET). O mês de Agosto/2017 (1ª campanha) apresentou um acumulado de chuva de 30mm. E o mês de Março/2018 (2ª campanha) apresentou um acumulado de chuva de 175mm.¹¹⁷

No período das coletas da 1ª campanha a vazão do rio Jucu foi de 7.398 L.s⁻¹. e na 2ª campanha a vazão foi de 34.454 L.s⁻¹.

Temperatura

A Figura 9 apresenta os resultados medidos de temperatura nas duas campanhas.

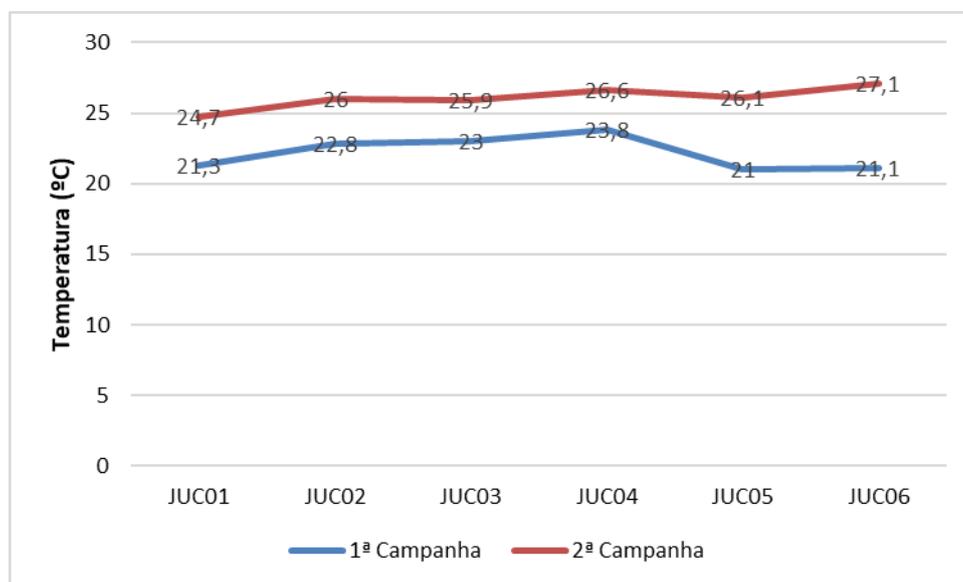


Figura 9. Variação da temperatura para a 1ª campanha e 2ª campanha.

A temperatura variou de 21 a 24°C na 1ª campanha. Na legislação não consta valores máximos ou mínimos estipulados para esta variável, entretanto, os resultados obtidos para essa variável estão dentro do esperado para a condição climática da região. De acordo com o instituto nacional de meteorologia (INMET), (Figura A1, no Anexo) a média da temperatura do dia da coleta foi de

24°C .¹¹¹

A variação da temperatura na 2ª campanha (Tabela 9) foi de 24,7°C a 27,1°C, a temperatura mínima medida pelo INMET (Figura A5) para este dia foi de 24,0°C. Logo, os resultados da temperatura da 2ª campanha, estão de acordo com as temperaturas médias da região.

O principal fator que altera a temperatura é o lançamento de efluentes industriais. Na área de estudo, este parâmetro se manteve basicamente estável, dentro dos padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA 430/2011, que para o lançamento de efluentes no corpo hídrico, este deve possuir temperatura abaixo de 40° C, pois alguns compostos são mais tóxicos para a vida aquática nas temperaturas mais elevadas, e existe uma relação direta entre a temperatura e a presença de vida aquática.¹¹⁸

Oxigênio dissolvido

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) devem ser superiores a 5mg.L⁻¹ no padrão de qualidade descrito na resolução do CONAMA 357/05 para águas de classe 2 e superiores a 6mg.L⁻¹ para águas de classe 1. ¹⁰

O oxigênio dissolvido se relaciona com a temperatura, pois ela afeta sua solubilidade em meio aquoso, isto é, com a diminuição da temperatura a solubilidade do oxigênio é maior, de acordo com a lei de Henry. No entanto, os resultados da temperatura nesses locais foram próximos, não apresentando temperaturas muito elevadas e nem muito baixas.

A Figura 10 mostra a variação do oxigênio dissolvido medido nas estações de coleta.

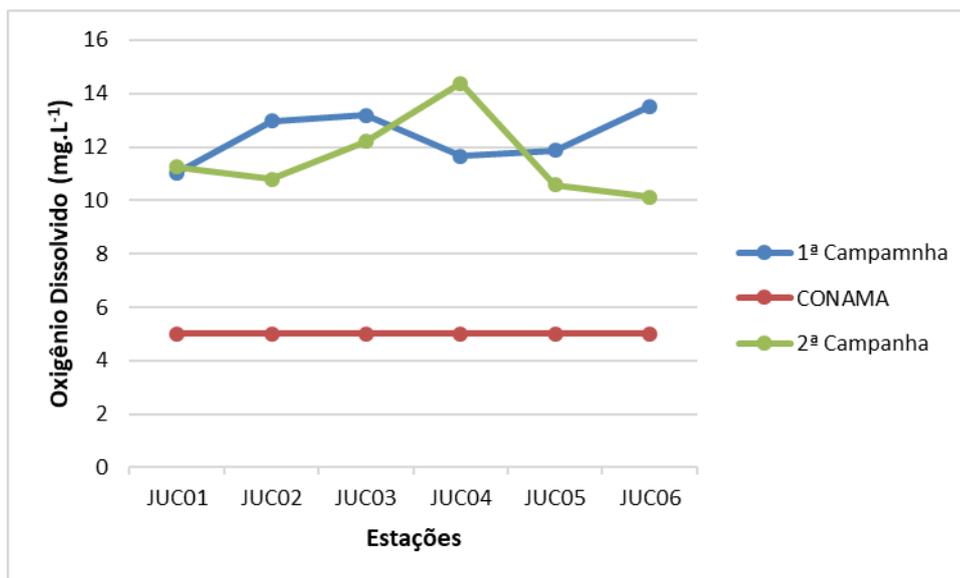


Figura 10. Comparação dos resultados do oxigênio dissolvido das estações de coletas com a resolução do CONAMA 357/05, da 1ª campanha e 2ª campanha.

A Tabela A5 traz a relação entre a solubilidade de oxigênio, temperatura e salinidade em água, é a relação entre os valores ideais de oxigênio à determinada temperatura em um ambiente com 0 ng.L⁻¹ de salinidade. Na 1ª campanha a concentração de oxigênio dissolvido variou de 11,04 a 13,52mg.L⁻¹ e a variação ideal para essa água seria de 8,40 a 9,08mg.L⁻¹ de acordo com a temperatura da água medida e com a salinidade da amostra. Logo, a concentração de oxigênio dissolvido medido nas estações de coleta foi superior ao ideal, que seria um valor calculado de acordo com a lei de Henry.

De acordo com Fiorucci e Filho (2005)⁴⁴, esse aumento pode estar relacionado ao crescimento excessivo de algas, ou nos locais de coleta pode ter ocorrido uma agitação das águas superficiais, promovendo sua aeração.

As estações de coleta JUC02, JUC03 e JUC04 são locais onde há maior agitação das águas. A estação JUC01 há maior presença de plantas aquáticas ao seu redor, que influencia no aumento de OD. As estações JUC05 e JUC06 estão em áreas de poluição doméstica e industrial, porém os valores de oxigênio dissolvido, nesses locais, são considerados como valores para águas limpas.

Na 2ª campanha houve uma diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido. Isso pode estar relacionado às chuvas desse período que geram um aumento da turbidez das águas. A turbidez influencia no processo de fotossíntese das plantas aquáticas, visto que o resultado é a liberação de

oxigênio dissolvido, logo, em turbidez maiores esse processo de fotossíntese é prejudicado levando a diminuição da formação do O_2 .⁴⁰

Condutividade elétrica

A Figura 11 mostra os resultados obtidos de condutividade elétrica nas duas campanhas.

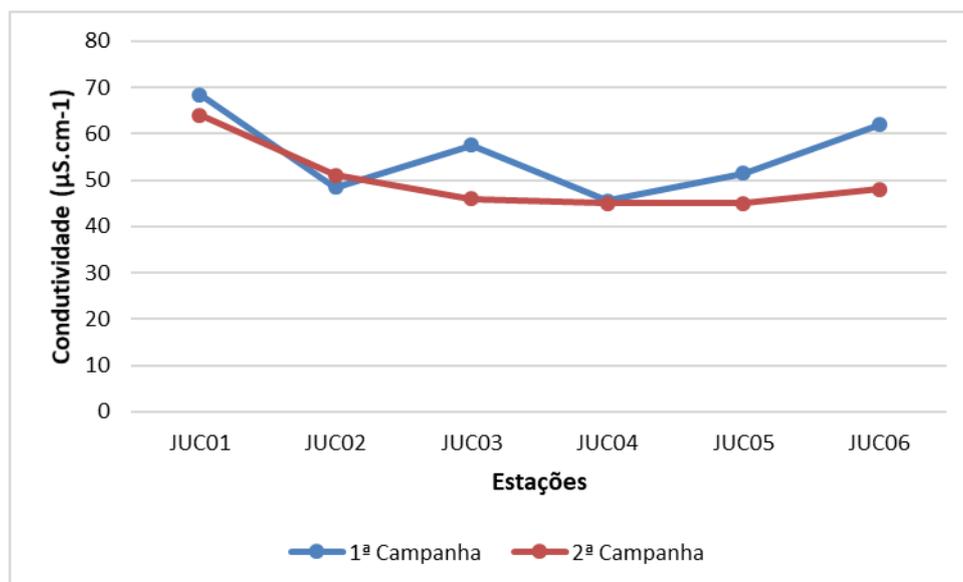


Figura 11. Resultados de condutividade elétrica (CE) da 1ª campanha (A) e 2ª campanha (B).

Os valores de CE na 1ª campanha variaram de $45\mu S.cm^{-1}$ a $77\mu S.cm^{-1}$, e a 2ª campanha apresentou uma variação de $45\mu S.cm^{-1}$ a $64\mu S.cm^{-1}$.

A condutividade elétrica representa a quantidade de sais dissolvidos capazes de conduzir corrente elétrica. A resolução do CONAMA nº 357/2005 não determina valor específico para esta variável, porém quando as concentrações ultrapassam a $100\mu S.cm^{-1}$, o ambiente pode estar impactado por ações antrópicas. Além disso, valores elevados de CE podem indicar características corrosivas da água.²³

De acordo com Ferreira (2001)¹¹⁹ uma condutividade elevada é indício de um pH anormal e salinidade alta, e a qualidade da água tratada deve se basear numa condutividade entre 50 e $400\mu S.cm^{-1}$, estando numa faixa de ótima qualidade. Entre 400 e $750\mu S.cm^{-1}$, a água tem uma qualidade boa e entre 750 e $1500\mu S.cm^{-1}$ qualidade mediana, embora ainda utilizável. Águas com condutividade acima de $1500\mu S.cm^{-1}$ terão mineralização excessiva.

Os resultados de CE da 1ª e 2ª campanha não ultrapassaram a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pode-se dizer então que, neste parâmetro, as águas do rio Jucu estão na faixa de águas de ótima qualidade.

A estação JUC01 apresentou maiores valores de CE nas duas campanhas. Segundo estudos, McNeil *et al.* (2005)¹²⁰, avaliando as características químicas da água e sua variação espacial na Austrália, identificaram que o sódio é o principal cátion presente nas águas, sendo a localização geográfica o principal agravante, ou seja, corpos hídricos mais próximos ao litoral podem apresentar valores de sais dissolvidos maiores em razão da intrusão salina pelos ventos, ou seja, a proximidade da estação JUC01 com o litoral, pode refletir em valores de condutividade elétrica mais pronunciados nessa estação frente as demais.¹²⁰

pH

A variação do pH das estações amostrais se encontram na Figura 12.

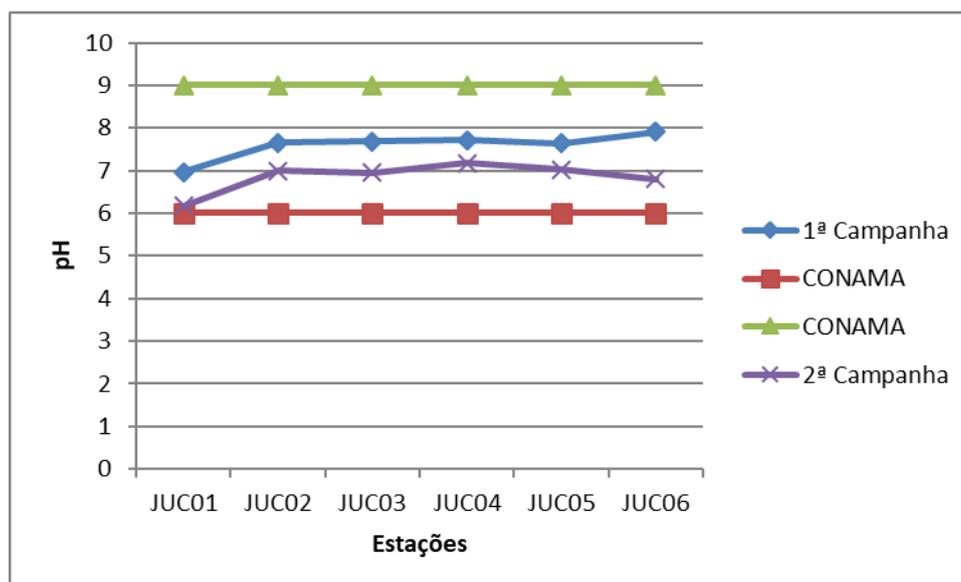


Figura 12. Comparação dos valores de pH com a faixa de limitação de pH do CONAMA 357/05 da 1ª campanha e 2ª campanha.

O pH das amostras da 1ª campanha variou de 6,97 a 7,91. Para a 2ª campanha a variação do pH foi de 6,17 a 7,18. Todos os resultados estão dentro dos limites de neutralidade.

De acordo com Lopes *et al.* (2010)¹²¹, os fatores que podem diminuir o pH de um corpo hídrico são, lançamentos de efluentes que liberam ácidos

fúlvicos e húmicos resultantes da degradação da matéria orgânica presente nas águas. E um outro fator, de acordo com Borges *et al.* (2003)¹²², é o tipo de solo por onde a água percorre.

O tipo de solo das regiões onde foram feitas as coletas do Rio Jucu são predominantemente do tipo Latossolo vermelho-amarelo, de acordo com os dados do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, da Embrapa (2006)⁶².

O Latossolo vermelho- amarelo são solos formados por material mineral, com horizonte B latossólico. Se encontra em estágio avançado de intemperização, muito evoluído devido ao resultado de ativas transformações no material constitutivo. Costuma ser ácido (com variação de 5 a 6), com baixa saturação por bases, distrófico ou alumínico.^{62,123}

Segundo o estudo de Netto (2008)¹²⁴, o latossolo vermelho-amarelo se diferencia do latossolo amarelo por possuir menor relação Al_2O_3/Fe_2O_3 na fração de argila e maior porcentagem de Fe_2O_3 livre. E do latossolo vermelho por possuir maior relação Al_2O_3/Fe_2O_3 na fração de argila e menor porcentagem de Fe_2O_3 livre. Logo, esse tipo de solo influencia na diminuição do pH no ambiente.

Observa-se que para as duas campanhas, a estação JUC01 apresentou valores de pH menores do que as demais estações. Isso pode estar associado a uma maior erosão das margens e escoamento superficial, para esta estação

E na 2ª campanha os valores de pH diminuíram levemente, que também pode estar relacionado a erosão da margem e ao assoreamento, devido as chuvas nesse período, visto que o tipo de solo possui um caráter ácido.

Turbidez

De acordo com resolução do CONAMA nº 357/05 os valores de turbidez devem ser menores que 40 UNT para águas de classe 1 e menores que 100UNT para águas doces de Classe 2. A Figura 13 traz os resultados de turbidez das estações de coleta.

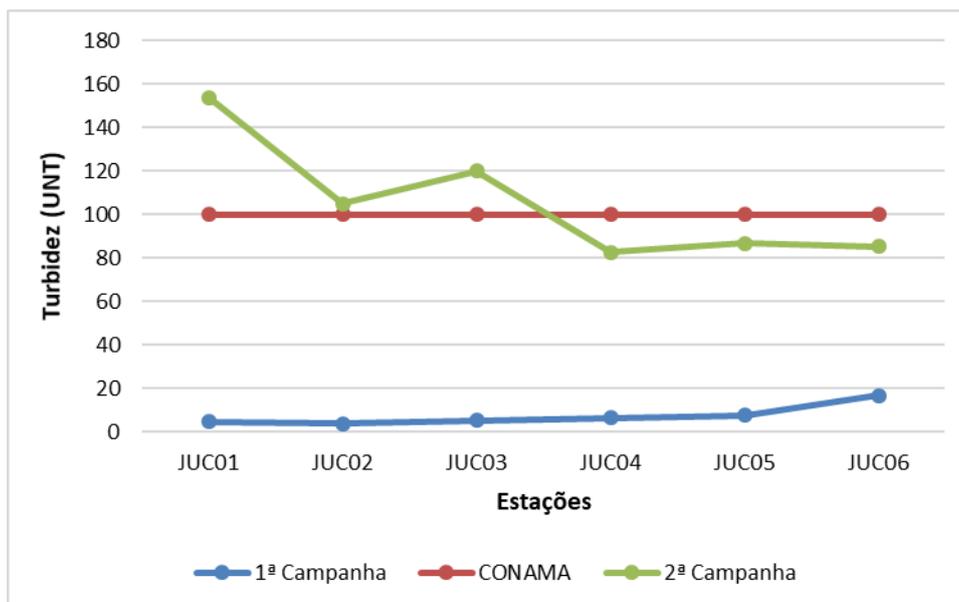


Figura 13. Comparação dos resultados de turbidez com a legislação CONAMA 357/05, da 1ª campanha e 2ª campanha.

A turbidez foi inferior a 20 UNT para período de pouca chuva, e ela foi relativamente constante para todas as estações na 1ª campanha.

Na segunda campanha, a variação da turbidez foi de 82,5 a 154 UNT. BUZZELI *et al.* (2013)⁴ também observou o aumento da turbidez no período de chuvas, com variação de 14,76 UNT, em período de estiagem, e a 41,26 UNT, em período chuvoso. Da mesma forma ABREU *et al.* (2017)¹²⁵ observou que no período de estiagem a turbidez variou de 5,65 e 7,01 UNT no mês de setembro e entre 4,53 e 11,53 UNT no mês de dezembro, já no período chuvoso, os valores variaram de 6,0 NTU a 17 NTU.

O aumento da turbidez na segunda campanha pode ter ocorrido por causa do período chuvoso. A chuva causa uma perturbação do sedimento em locais rasos, como a zona litorânea e provoca a erosão das margens, por falta de vegetação ripária. E também carregam folhagens e galhos de árvores para dentro do corpo hídrico por ação dos ventos e da correnteza. Detritos orgânicos como algas, bactérias, plâncton, entre outros, também interferem na turbidez da água, por biogênese, por serem seres vivos em tamanhos significativos para dar turbidez à água.⁵¹

Ações antrópicas como desmatamento, despejo de esgoto sanitário, efluentes industriais e agropecuários, fazem com que o escoamento superficial aumente a turbidez da água, resultando em grandes alterações no ecossistema

aquático, promovendo a redução da fotossíntese de plantas aquáticas, principalmente do fitoplâncton e das macrófitas submersas, suprimindo a produtividade de peixes e afetando adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional.⁵¹

Sólidos dissolvidos totais

A Figura 14 dispõe os resultados de sólidos dissolvidos totais das duas campanhas.

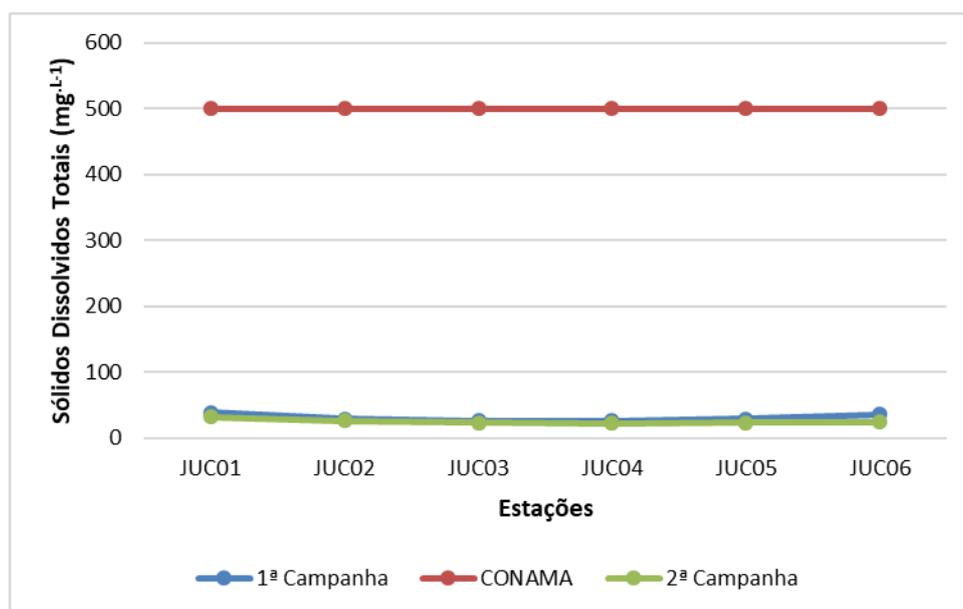


Figura 14. Comparação dos valores dos sólidos dissolvidos totais com o limite permitido pelo CONAMA 357/05, da 1ª e 2ª campanha.

Os valores obtidos para os sólidos dissolvidos totais se encontram bem abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 que é de 500 mg.L⁻¹ para água doce de classe 2. Com uma variação de 26 a 35,5 mg.L⁻¹, na 1ª campanha e de 22 a 32 mg.L⁻¹, na 2ª campanha.

Os sólidos dissolvidos totais compreendem sais inorgânicos (principalmente cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, cloretos e sulfatos) e algumas pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvida em água.

De acordo com Oram (2014)¹²⁶, nos Estados Unidos, o elevado teor de sólidos dissolvidos totais tem sido devido a características ambientais naturais, como fontes minerais, depósitos de carbonato, depósitos de sal e intrusão de

água do mar, mas outras fontes podem incluir: sais usados para descongelamento de estradas, materiais antiderrapantes, bebidas produtos químicos para tratamento de água, águas pluviais e escoamento agrícola e descargas pontuais e não pontuais de águas residuais.

Pode-se dizer que a quantidade de sólidos presentes na água na 2ª campanha (que foi o período de maiores chuvas) são de sólidos suspensos, que pode ser relacionado aos resultados de turbidez.

Nitrogênio total

Na Figura 15 pode-se encontrar os resultados alcançados de nitrogênio total.

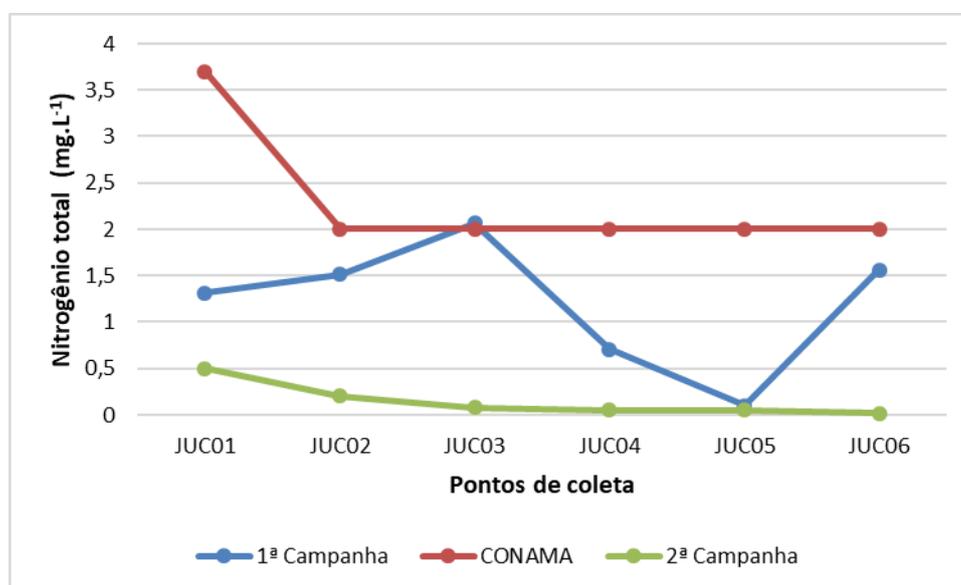


Figura 15. Comparação dos valores do nitrogênio total com a resolução do CONAMA 357/05, da 1ª a 2ª campanha.

A estação JUC03 foi a única que esteve acima do limite de 2,0 mg.L⁻¹, com concentração 2,07 mg.L⁻¹. As principais fontes de nitrogênio total no corpo hídrico são oriundas dos esgotos sanitários, efluentes industriais, excrementos de animais e fertilizantes, pois fornecem nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise sofrida pela ureia na água, justificando a relação direta entre o aumento da demanda química e bioquímica de oxigênio, bem como de coliformes termotolerantes.³

As estações JUC05 e JUC06 se encontram próximas do centro da cidade de Marechal Floriano, onde recebe descargas diretas de efluentes domésticos que justifica a alta concentração de nitrogênio total. TERRA V. *et al.* (2009)⁹⁹

fizeram um estudo do braço sul do rio Jucu, e os resultados para o nitrogênio foi uma variação de 0,7 a 0,9 mg.L⁻¹ no período de julho de 2006.

As estações JUC03, JUC05 e JUC06 correspondem ao braço sul e apresentaram resultados de 2,07, 0,1 e 1,56 mg.L⁻¹ no período de Agosto de 2017 mostrando que houve um acréscimo da concentração do nitrogênio total no braço sul do rio Jucu, comparado com o mesmo período estudado por TERRA V. *et al.* (2009).⁹⁹

No período de chuvas houve uma diminuição da concentração do nitrogênio, e os estudos de BUZELLI *et al.* (2013)⁴ no reservatório de Barra Bonita, também observou essa diminuição do nitrogênio total no período chuvoso, que está relacionado ao fator de diluição.

Na 1ª campanha, as estações JUC03 e JUC06 apresentaram concentrações de nitrogênio próximo do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05. A estação JUC03 está bem próximo a zonas de agricultura o que pode explicar os valores de nitrogênio, e a estação JUC06 está dentro da cidade de Marechal Floriano, em que recebe despejos domésticos e industriais.

DBO, DQO e matéria orgânica

A DQO possui valores maiores que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), porque o agente oxidante utilizado é muito forte, oxidando outros compostos que não são oxidados de maneira microbiológica.¹²⁷

A DBO degrada somente matéria orgânica biodegradável, e pode ser considerada um indicador de qualidade de água, ao se considerar a poluição orgânica.⁴ Para a DBO o valor limite de acordo com a resolução do CONAMA nº 357/05 é de 5mg.L⁻¹, para águas de classe 1 e classe 2.¹⁰

Na Figura 16 têm-se os resultados obtidos para a demanda química de oxigênio (DQO) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nas duas campanhas.

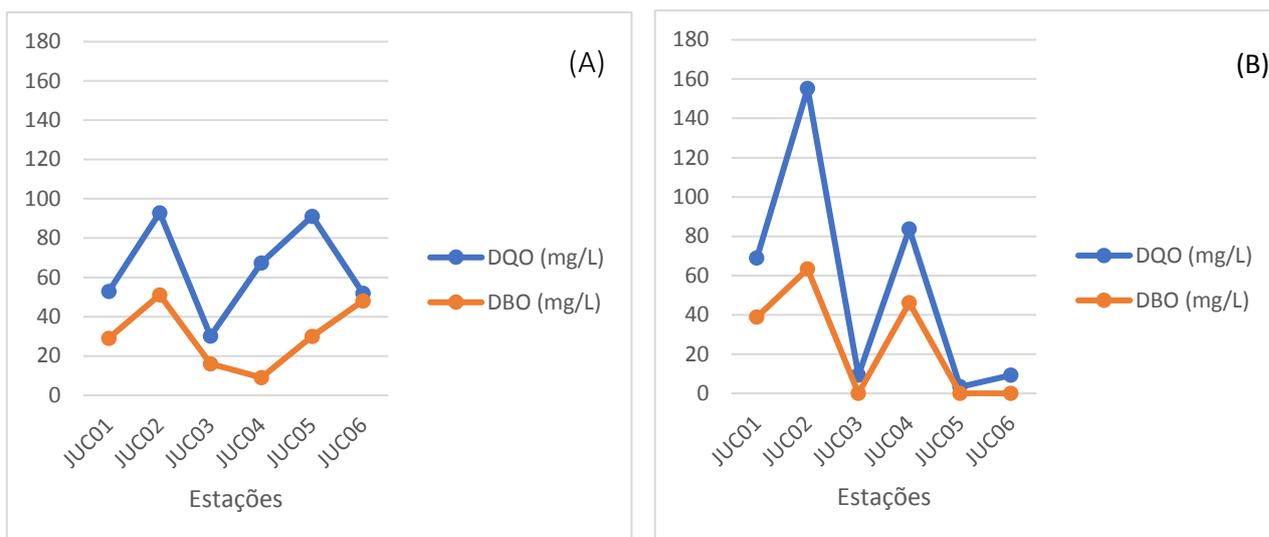


Figura 16. Resultados de DQO e DBO da primeira campanha/2017 (A) e segunda campanha/2018 (B).

Na primeira campanha a DBO e a DQO foram altas nas estações JUC01, JUC02 e JUC04. Esse valor de DQO pode ser explicado por essas águas apresentarem maiores quantidades de matéria orgânica (Tabela A1 e A2).

Para a 2ª campanha os valores de DBO foram todos acima do limite de 5mg.L^{-1} para todas as estações, e os resultados de DQO foram superiores aos da DBO, isso pode ser devido ao aumento de despejos de cargas predominantemente orgânicas, como efluentes domésticos *in natura*, industriais e de agricultura.

Estudos de Zonta *et al.* (2008)¹²⁸ nas águas do rio Alegre, no sul do estado do Espírito Santo, os autores observaram que nos meses de chuva ocorria deterioração na qualidade das águas, devido ao aumento da turbidez e da DBO nas águas estudadas, estando relacionadas diretamente com o uso e ocupação do solo, permitindo, muitas vezes, diagnosticar possíveis causas dos impactos ambientais sobre os recursos naturais. E de acordo com estudos de TERRA V. *et al.* (2009)⁹⁹ a DBO recebeu aumento em temporadas de chuvas, devido ao maior escoamento superficial, levando mais rejeitos ao rio.

Escherichia coli

Na Tabela 11 se encontram os resultados da segunda campanha para *Escherichia coli*, microrganismos do grupo coliforme, que indicam a possibilidade de ocorrência de germes patogênicos de origem intestinal.²³

Tabela 11. Resultados para E. Coli. das amostras da 2ª Campanha e sua classificação de acordo com a CONAMA 274/2000.¹²⁹

Estações	<i>E. Coli</i> (<i>E. Coli</i>/100mL)	Classificação CONAMA 274/00
JUC01	2300	Imprópria
JUC02	140	Muito boa
JUC03	160	Muito boa
JUC04	320	Muito boa
JUC05	380	Muito boa
JUC06	87000	Imprópria

Segundo a Resolução do CONAMA nº 274/2000, as águas consideradas próprias para balneabilidade humana são subdivididas em: excelente (máximo de 250 coliformes fecais ou 200 *Escherichia coli* por 100 ml), muito boa (máximo de 500 coliformes fecais ou 400 *Escherichia coli*) e satisfatória (máximo de 1.000 coliformes fecais ou 800 *Escherichia coli*). Porém, se o valor obtido para esta variável for superior a 2.500 coliformes fecais ou 2.000 *Escherichia coli* as águas serão consideradas impróprias.¹²⁹

De acordo com a Tabela 10, as estações JUC06 e JUC01 apresentam concentrações elevadas e *Escherichia Coli*, tornando essas águas impróprias para o consumo.

Os resultados da AGERH (Tabela A3 e A4) mostraram que as concentrações de coliformes termotolerantes na 2ª campanha ficaram acima do permitido de 1.000 NMP/100mL em todos as estações, exceto na estação JUC04. As estações JUC05 e JUC06 apresentaram valores 13 vezes acima do permitido.

As estações JUC05 e JUC06 recebem maiores descargas de efluentes domésticos, pois estão dentro da cidade de Marechal Floriano. Estudos de TERRA V. *et al.* (2009)⁹⁹, as estações de coleta na cidade de Marechal Floriano, em 2006, apresentaram variações de coliformes de 3.700 a 4.500NMP/100mL. E os estudos de JUNIOR *et al.* (2016)²³ encontraram

resultados para coliformes termotolerantes no braço sul do rio Jucu no ano de 2009, variando de 5.000 a 35.000 NMP/100mL, muito acima do limite permitido pela resolução do CONAMA nº 274/00.

Índice de Qualidade da água

Na Tabela 12, tem-se os resultados do IQA_{CETESB} da 1ª e 2ª campanha.

Tabela 12. Índice de qualidade de água CETESB e a Classificação das águas do rio Jucu da 1ª e 2ª campanha.

Estações	1ª C. IQA _{CETESB}	Classificação	2ª C. IQA _{CETESB}	Classificação CETESB
JUC01	90	Ótima	63	Boa
JUC02	69	Boa	65	Boa
JUC03	81	Ótima	65	Boa
JUC04	74	Boa	68	Boa
JUC05	63	Boa	55	Boa
JUC06	88	Ótima	53	Boa

Na 1ª campanha a estação JUC05 foi a que apresentou menor IQA_{CETESB}, com um valor de 63, sendo classificada como águas boas. A estação JUC01 foi a que apresentou melhor IQA com 90, com a classificação de água ótima. Estudos anteriores do rio Jucu, como relatado por JUNIOR *et al.* (2016)²³ classificaram suas águas como boa, com uma variação de IQA de 55 a 60.

A estação JUC04, de acordo com o enquadramento de águas segundo a AGERH, está classificado como classe 1, o qual deveria apresentar um IQA com classificação de água ótima. Porém, suas águas foram classificadas como boa se igualando aos valores de estações mais contaminadas por efluentes domésticos, uma vez que o IQA é sensível a poluição relacionada a esgoto sanitário.

Na 2ª campanha, as estações apresentaram diminuição no seu índice de qualidade, mostrando que no período mais chuvoso as águas recebem mais contaminação de fatores externos.

Estudos feitos por Bonnet *et al.* (2008)¹³⁰, relacionando a qualidade da água e o uso do solo numa bacia hidrográfica em Goiás, observaram também

que nos períodos de cheia, os valores de IQA foram piores.

Estudos realizados no rio Chillán, um rio que desempenha um papel fundamental no centro Chile, como fonte de irrigação, água potável e como receptor de efluentes urbanos, apresentou um IQA variando de 40 a 80 no verão, e de 80 a 100 no inverno. Os autores observaram através do índice que no verão as águas do rio ficaram mais deterioradas especialmente nos locais dentro da região urbanizada, e locais mais afastados dos grandes centros tiveram índices de classificação como muito boa.¹³¹

Bordalo *et al.* (2006)¹³², estudaram as águas do rio Douro, que possui a maior bacia hidrográfica da Península Ibérica dividida entre a montante da Espanha a (80%) e a jusante de Portugal (20%), em geral, a qualidade da água do rio foi de média a baixa, com um IQA variando de 47,3 a 61,7, onde os principais parâmetros pra esses valores foram a alta condutividade e baixo teor de oxigênio, e a contaminação por coliformes fecais.¹³²

Os parâmetros que mais influenciaram na redução da qualidade da água na 1ª campanha para a estação JUC02 foram coliformes termotolerantes e fósforo total, para a estação JUC04 foram os coliformes termotolerantes e para a estação JUC05 foram coliformes termotolerantes e nitrogênio. Na 2ª campanha os parâmetros, coliformes termotolerantes, sólidos totais e turbidez, foram os que influenciaram na queda da qualidade da água em todos as estações de coleta.

Elementos traço

A Tabela A6 e A7 traz os resultados dos elementos traços em água superficial, que podem ser observados na Figura 18, junto com os limites estabelecido pelo o CONAMA 357/05¹⁰.

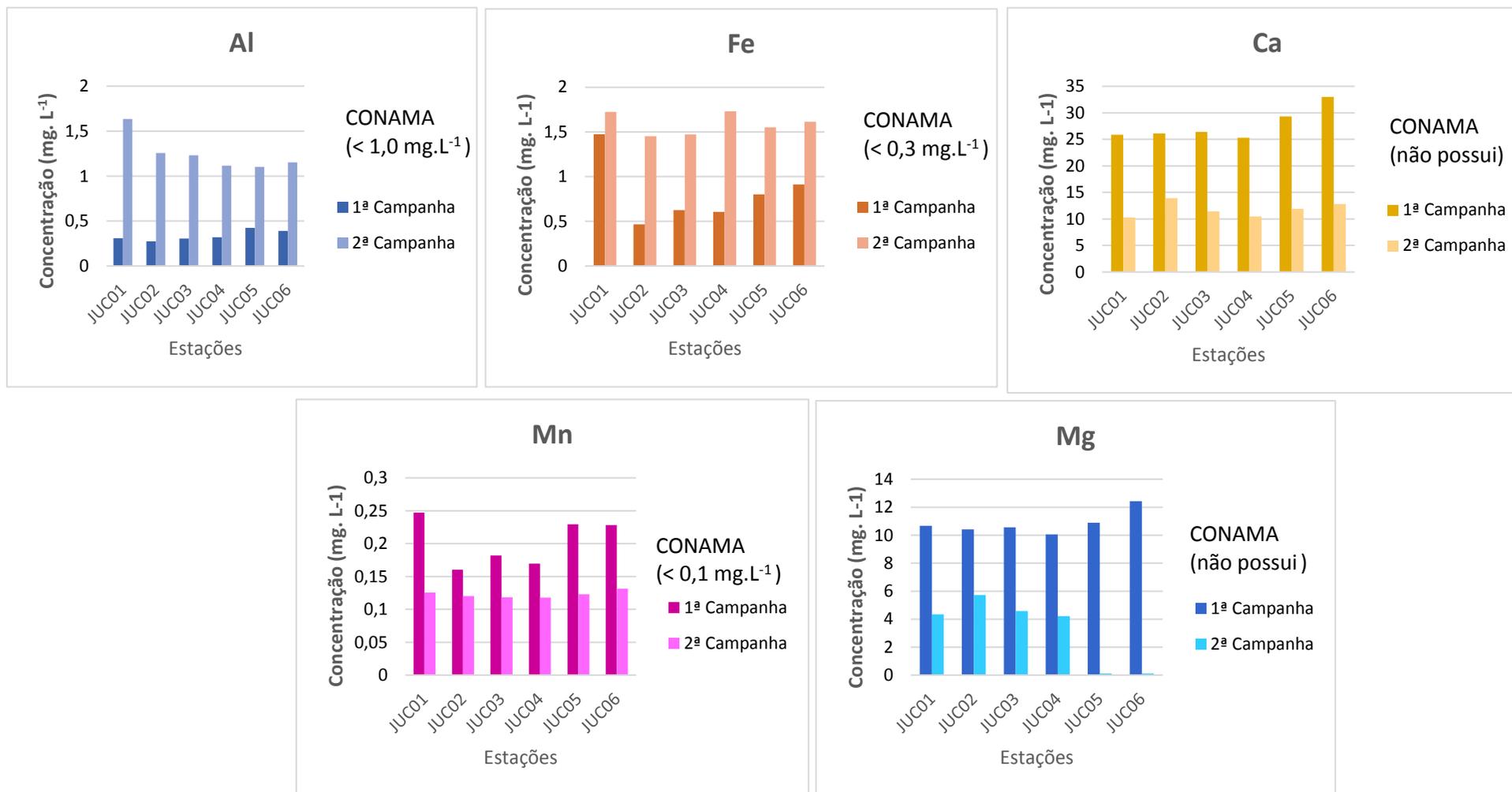


Figura 17. Resultados dos elementos traço em água da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 357/05.

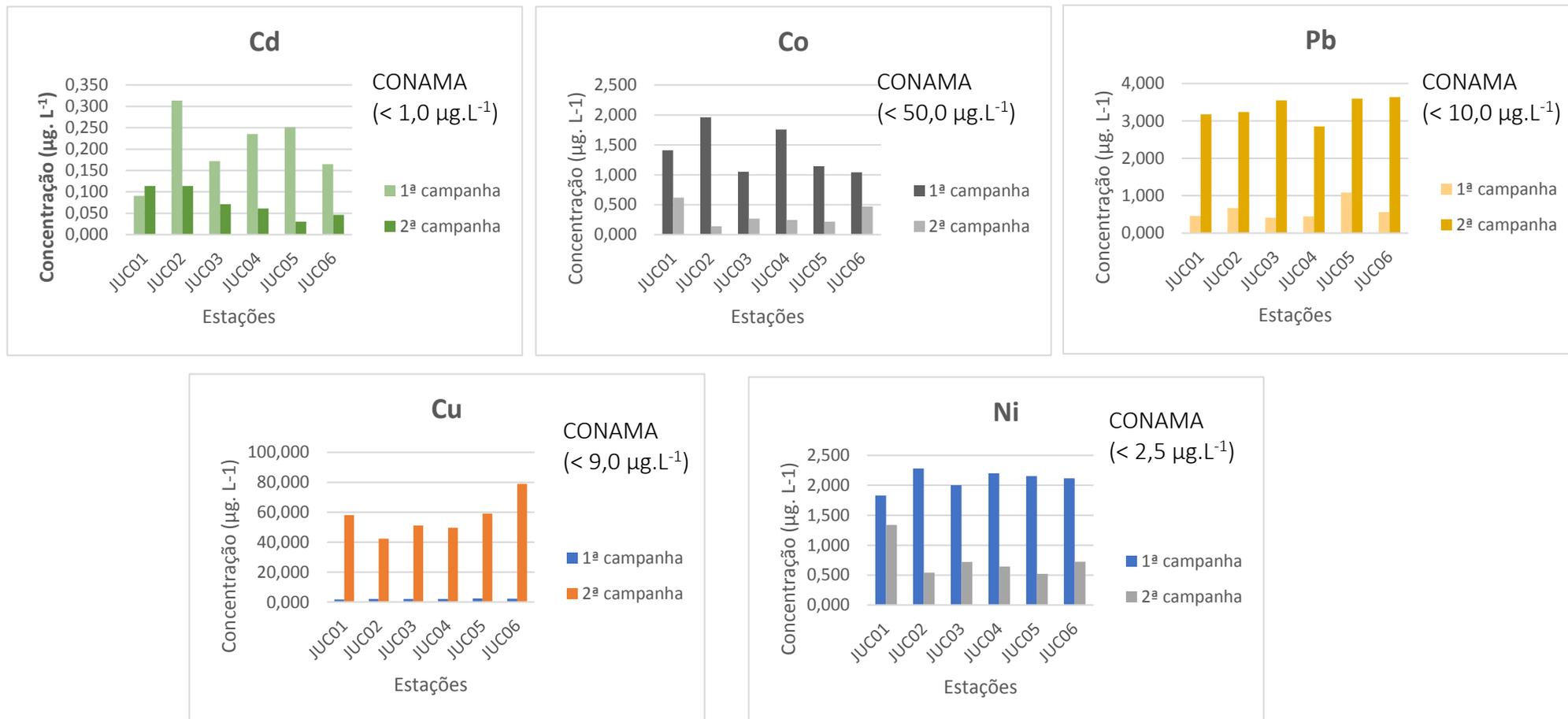


Figura 18. Resultados dos elementos traço em água da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 357/05.

O uso da Bacia do Rio Jucu é majoritariamente agrícola, embora as várias pequenas indústrias localizadas na bacia se encontrem principalmente nas regiões de Viana, Cariacica e Vila Velha, locais urbanizados e antropizados, onde estão localizados as estações deste estudo.

Nas amostras de água, os elementos traço Al, Fe e Mn estavam em todas as estações com concentrações acima do limite permitido pela resolução do CONAMA nº 357/05 e o Ni na primeira campanha também estava acima do limite permitido pela resolução do CONAMA nº 357/05 para as águas das classes 1 e 2.

O Mn variou de 0,1180 a 0,2474 mg.L⁻¹, onde o limite máximo é de 0,100 mg.L⁻¹. Mesmo que seja considerado essencial para animais aquáticos e humanos, em excesso pode causar danos, em seres humanos pode causar sintomas como rigidez muscular, tremores das mãos e fraqueza. E em animais provoca alterações no cérebro, e ainda pode levar à impotência.

Sua disponibilidade deve-se principalmente à erosão do solo e às emissões industriais. Como esse elemento é amplamente utilizado em diversas indústrias e fertilizantes, a alta concentração de Mn nas águas do rio Jucu pode ser devida às indústrias próximas e também pelo uso do solo do meio ambiente fluvial pela agricultura.

Estudos de Ribeiro *et al.* (2012)⁹, também encontraram contaminações de Mn dissolvidos nas águas do rio São Francisco/MG, próximas às indústrias. E os estudos de Nienie *et al.* (2017)¹³³ nos rios Lukemi e Luini, localizados na cidade de Kikwit (província de Kwilu, democrata República do Congo), revelou que as amostras de água também tiveram Mn acima do limite, mas que a origem deste elemento traço seria de processos geoquímicos nos locais de amostragem, que também pode ser uma fonte para o aumento das concentrações de manganês.

O Fe é o segundo elemento traço mais abundante e o Al é o terceiro, estando presente em todas as águas superficiais. Como o solo da bacia do rio Jucu é um latossolo vermelho-amarelo, pode ter consideráveis concentrações de ferro e alumínio, a estação JUC01 sofre com a erosão das margens e escoamento superficial, o que pode aumentar a concentração de Fe e Al em seu leito.

Houve um aumento na concentração de Fe e Al na 2ª campanha

provavelmente associada à estação chuvosa, que aumenta a possibilidade da erosão das margens do rio, deixando os elementos Al e Fe mais disponíveis na água e no sedimento. Estudos de Menezes *et al.* (2009)¹³⁴ no rio São Domingos, localizado no Rio de Janeiro, também observaram a contaminação desses elementos em águas superficiais, onde no período chuvoso, essa contaminação foi maior.

Nas amostras de sedimento a concentração de cromo foi significativa em todas as estações de coleta, estando acima do limite em JUC02 na primeira campanha, com 84,74mg.Kg⁻¹. Segundo Rosolen *et al.* (2009)¹³⁵, embora o Cr esteja naturalmente presente nos sedimentos, o Cr chega ao sedimento principalmente através de efluentes industriais, como couro (curtimento), fabricação de tintas e pigmentos, preservantes de madeira e galvanoplastia, fertilizantes, atividades de mineração e resíduos urbanos e industriais. Perto da estação JUC02 foi investigada a presença de algumas indústrias que podem ter causado essa alta concentração de Cr neste período.

No entanto, as concentrações dos outros elementos traço no sedimento estavam abaixo do limite de prevenção do solo segundo a resolução do CONAMA nº 420/09.

A Figura 19 mostra a relação dos parâmetros físico-químicos, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) pH e sólidos dissolvidos totais (SDT).

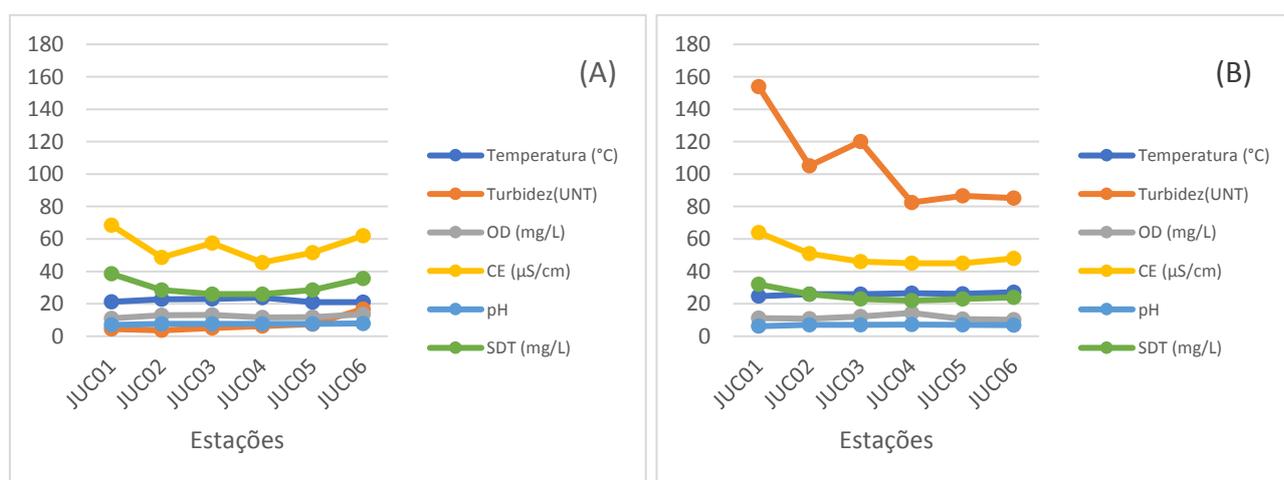


Figura 19. Relação dos parâmetros físico-químicos da primeira campanha/2017 (A) e segunda campanha/2018 (B).

Observa-se na Figura 19, que o parâmetro que foi mais significativo na discriminação entre as duas campanhas foi a turbidez, que corresponde a quantidade de sólidos em suspensão, e os demais parâmetros não foram tão diferentes entre as duas campanhas.

Os sólidos em suspensão em água referente ao rio Jucu foi discriminado pelos elementos Fe e Al, que tiveram suas concentrações maiores na segunda campanha, os elementos Ca, Ni, Mn, Mg e Cd, Co tiveram suas concentrações reduzidas, e isto pode ter sido provocado pela diluição desses elementos devido a cheia do rio. O Cr não foi quantificado em águas superficiais, tendo sua concentração abaixo no limite de quantificação.

Os elementos Cu e Pb tiveram concentrações mais altas na segunda campanha com relação a primeira campanha. O elemento Cu, esteve com a concentração acima $9,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ em todas as estações, variando de $42,388 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $78,913 \mu\text{g.L}^{-1}$, onde as estações JUC05 e JUC06 tiveram maiores concentrações, com $59,159 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $78,913 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente.

O aumento de Cu na segunda campanha pode ter ocorrido devido ao aumento da do escoamento superficial das regiões próximas ao rio. Segundo Pedroso e Lima(2001)¹³⁶ a presença do Cu no corpo hídrico se dá principalmente pelos resíduos de indústrias, onde há grande presença desse elemento em seus matérias, como fios elétricos, tubulações e encanamentos e também de agriculturas, onde é muito utilizado no tratamento da água para controle de algas, e também é resíduo de mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia e incineração de resíduos municipais.⁸⁴

E o aumento de Pb na segunda campanha pode ter ocorrido pelo mesmo motivo que o aumento do Cu, pois são elementos muito presentes em indústrias, sobretudo de siderúrgicas, onde tiveram suas concentrações maiores em locais urbanos. Estudos de Santos *et al.* (2014)¹³⁷ nas águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia), também encontraram contaminações de Cu e Pb em seu leito, e segundo os autores, os principais fatores foram as atividades industriais próxima a região do rio, em regiões onde há vias de tráfego intenso.

E na Tabela A8 têm-se os resultados dos elementos traço em amostras de sedimento, que pode ser observado nas Figuras 20 e 21.



Figura 20. Resultados dos elementos traço em sedimento da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 420/09.

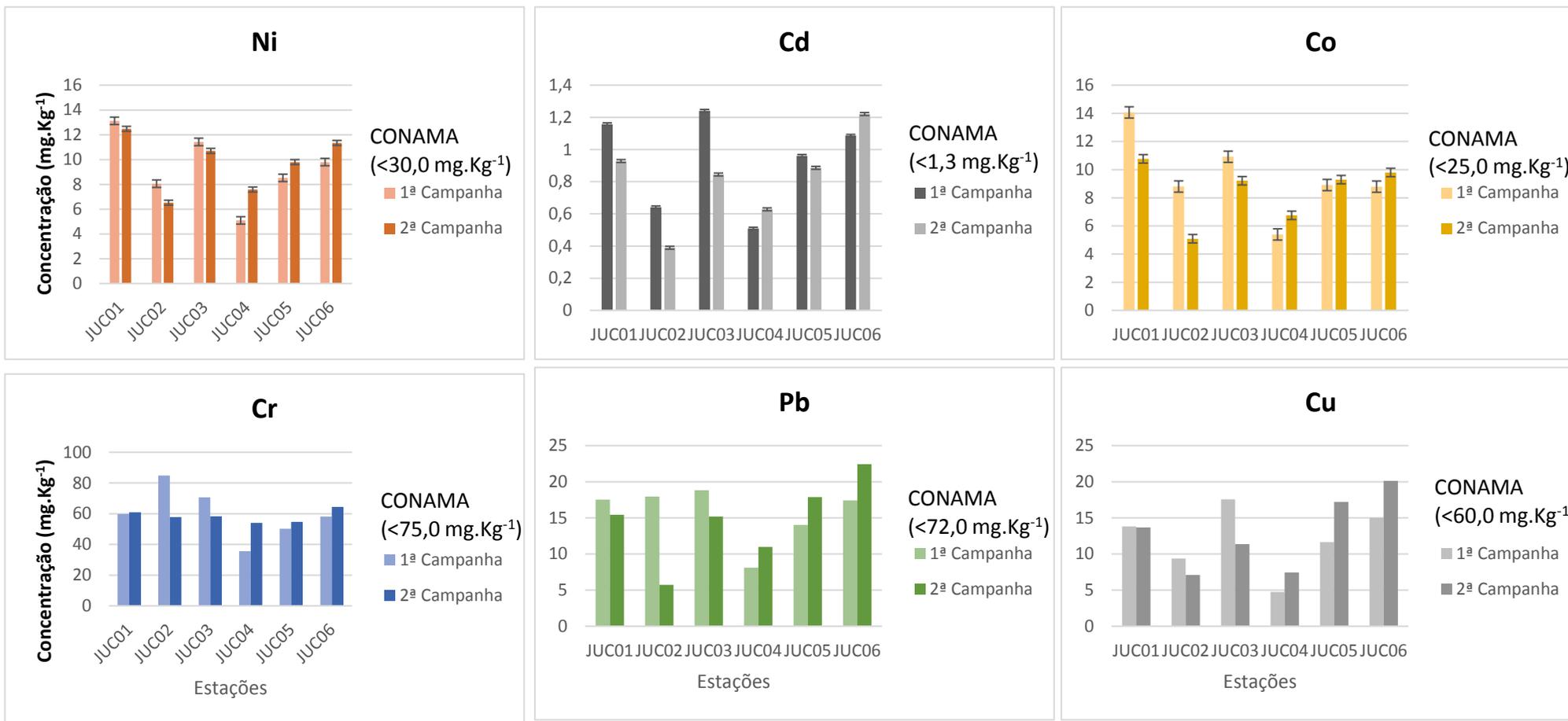


Figura 21. Resultados dos elementos traço em sedimento da primeira e segunda campanha, comparando com a resolução do CONAMA 420/09.

Os elementos Al, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn, não possuem concentrações limites na resolução do CONAMA 420/09. Esses elementos não apresentaram discrepâncias entre as campanhas com exceção do Mn, que teve uma redução nas estações JUC01 a JUC04 e um leve aumento nas estações JUC05 e JUC06.

Os elementos Ni, Cd, Co, Cr, Pb e Cu tiveram suas concentrações abaixo do limite de prevenção da resolução do CONAMA 420/09, exceto o Cr na estação JUC02 na primeira campanha, com concentração de 84,74 mg.Kg⁻¹. Esses elementos tiveram um aumento nas estações JUC04, JUC05 e JUC06 na segunda campanha.

A Figura 22 mostra o teor de matéria orgânica no sedimento nas duas campanhas.

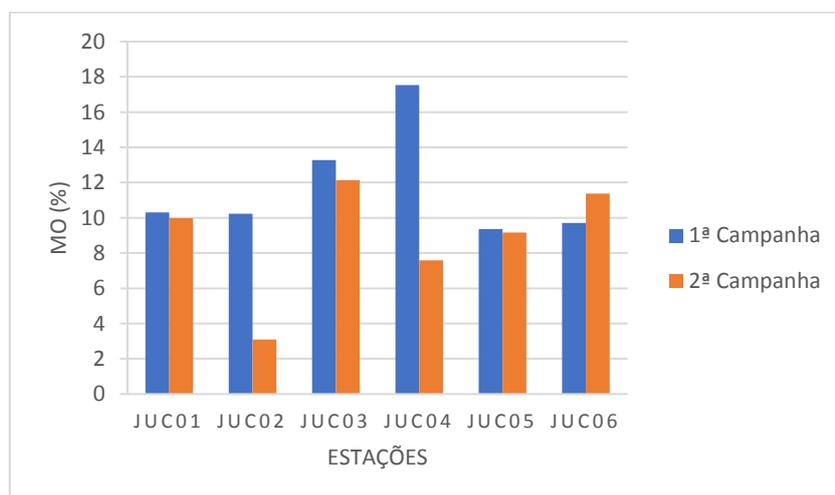


Figura 22. Teor de Matéria orgânica (MO) em % na primeira campanha/2017 e segunda campanha/2018

De acordo com Ferreira (2001)¹¹⁹ os elementos traço possuem fortes interações com a matéria orgânica, substâncias húmicas e flúvicas, a qual tem um efeito marcante sobre a especiação e toxicidade desses elementos.

O teor de matéria orgânica nas duas campanhas foram próximos, exceto para as estações JUC02 e JUC04, onde tiveram seus teores reduzidos na segunda campanha. Da mesma forma, foi observado nas amostras de sedimento que os elementos apresentaram tendências semelhantes ao teor de matéria orgânica em todas as estações amostrais, com exceção da estação JUC04, que para todos os elementos essa tendência não foi observada, tendo na segunda campanha um aumento da concentração de todos os elementos

traços com exceção do Mn. O que induz a pensar que na estação JUC04 os elementos não possuem maior afinidade com a matéria orgânica, mas sim com outra forma da fração do sedimento, como a argila e a silte por exemplo.

Fitotoxicidade

Os resultados das análises do índice de germinação e do índice de crescimento radicular se encontram na Figura 23.

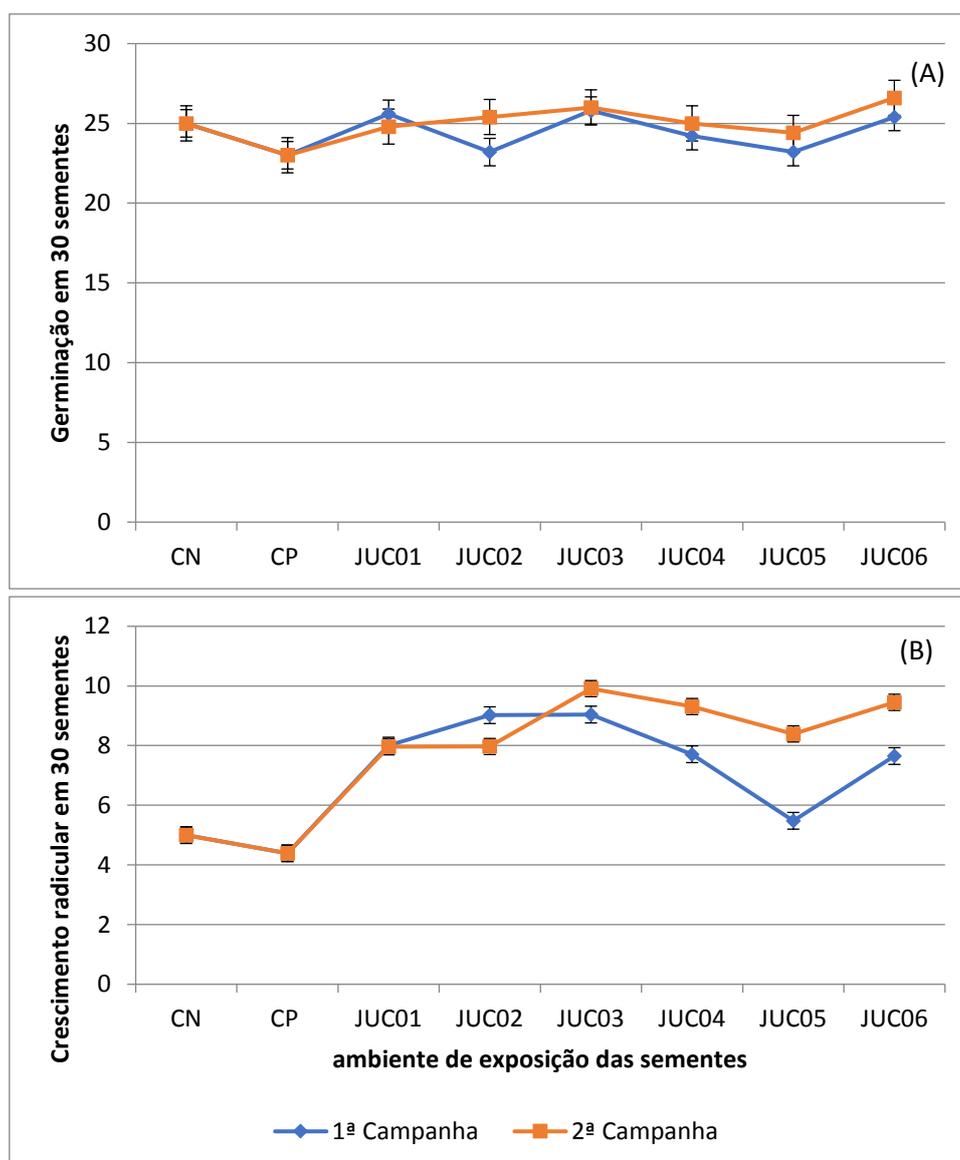


Figura 23. Resultados da análise da germinação (A) e do crescimento radicular (B) em 30 sementes de *Lactuca Sativa*, expostas em amostras da 1ª e 2ª campanha e em controle positivo e negativo. Teste de Tukey ($p > 0,05$). CN: controle negativo e CP: controle positivo.

O controle negativo utilizado foi a água destilada, ela não apresenta quantidade de minerais significativos para promover um bom crescimento das raízes das plantas, se diferenciando bem pouco do controle positivo, que é utilizado como inibidor do crescimento das sementes.

Pode-se observar que as amostras de água do rio Jucu não apresentaram efeito fitotóxico nas sementes de *L. sativa*, pois o crescimento das raízes foram maiores que o controle positivo.

Foi evidenciado um efeito estimulante em todas as estações do rio, pois o índice de germinação foi maior que o controle negativo. Estudos feitos por Rodrigues *et al.* (2013)¹³⁸, Tigini *et al.* (2011)¹³⁹ e Alvim *et al.* (2011)¹⁴⁰ também observaram esse efeito estimulante para plantas expostas a efluentes domésticos e industriais. Esses autores argumentam que a carga orgânica advinda principalmente do efluente doméstico pode proporcionar uma oferta maior de nutrientes que contribuem para o aumento do crescimento radicular.

Na 1ª campanha a estação JUC05 foi a que apresentou menor índice de crescimento radicular comparada as outras estações, o que pode ser devido ao seu baixo teor de matéria orgânica. Na 2ª campanha as estações JUC03, JUC04, JUC05 e JUC06 apresentaram maior crescimento radicular, provavelmente esse efeito deve ter sido pelo aumento das chuvas e da consequente disponibilização de nutrientes e matéria orgânica, proveniente dos despejos domésticos e industriais, observado esse efeito com os resultados do IQA desses locais.

Os elementos traço como Pb, Cd, Co e Cr, que são considerados elementos tóxicos em baixas concentrações, apresentaram quantidades muito baixas nas amostras de água e não atuaram como inibidores no crescimento da semente no teste realizado.

Análise multivariada de dados

As variáveis utilizadas na análise de componentes principais foram temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), pH, turbidez, nitrogênio total (NTK), amônia, DQO, sólidos totais(ST), sólidos fixos (SFx), sólidos voláteis (SV), matérias orgânica (MO).

As componentes principais iniciais PC1 (36,63%), PC2(23,81%), PC3(16,20%) foram mais significativas, apresentou um total de 76,64% da

variância dos dados (Figura 24).

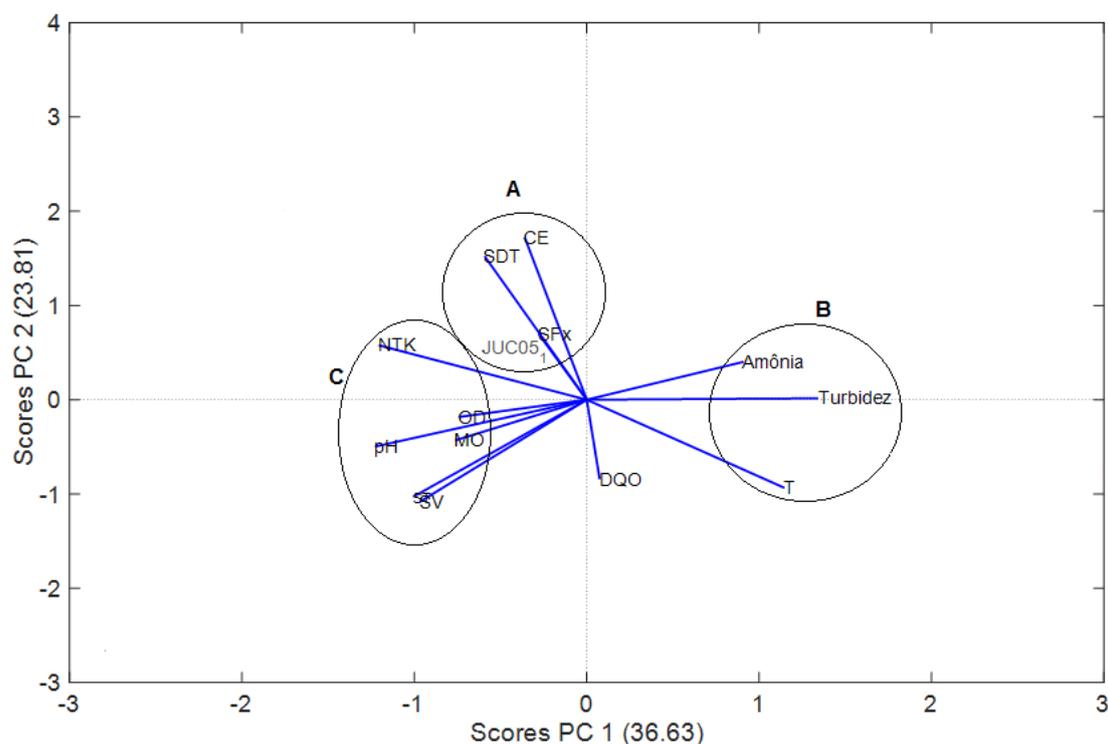


Figura 24. Gráfico dos *loadings* correspondentes aos parâmetros estudados nas amostras de águas superficiais (PC1 x PC2).

A PC1, que explicou 36,63% da variância dos dados, concentrou informações a respeito das variáveis: temperatura, amônia e turbidez, que apresentaram correlação positiva, sendo as mais significativas para a discriminação das amostras da segunda campanha.

A PC2 explicou 23,81% da variância dos dados, mostrou correlação entre as variáveis: condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e sólidos fixos, o que é de se esperar, visto que são parâmetros físico-químicos relacionados.

A Figura 25 mostra o dendograma das estações de coleta da primeira e a segunda campanha.

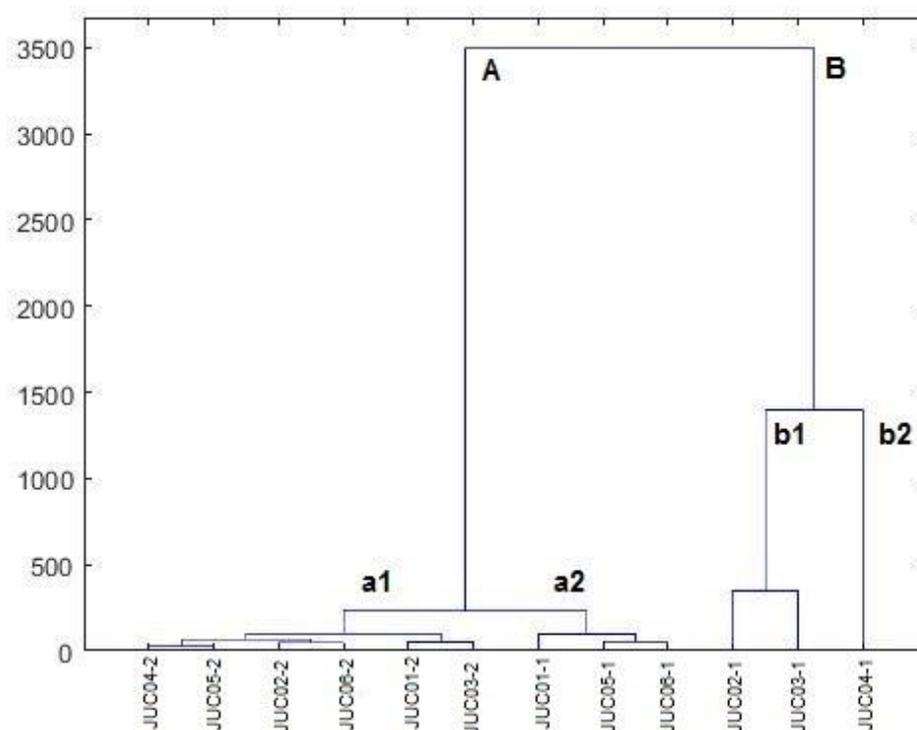


Figura 25. Dendrograma obtido para as amostras a partir das distâncias euclidianas normalizadas.

Observa-se no dendrograma, a formação de dois grupamentos separados pela máxima dissimilaridade, identificados como agrupamentos A e B. Analisando o agrupamento A, este apresentou dois subagrupamentos, a1 e a2, o agrupamento a1 foi formado por todas as estações da segunda campanha (do JUC01 ao JUC06) e o agrupamento a2 foi formado pelas estações JUC01, JUC05 e JUC06 da primeira campanha. E o agrupamento B também apresentou dois subagrupamentos, o subagrupamento b1, que foi formado pelas estações JUC02 e JUC03 e o agrupamento b2 formado pela estação JUC04.

Ou seja, através da análise de cluster podemos observar que na 1ª campanha as estações que apresentaram similaridades entre si foram as estações JUC01, JUC05 e JUC06, que são mais passíveis a contaminação antropogênica. As estações JUC02 e JUC03 apresentaram similaridade, e a estação JUC04 é o único ponto que está classificado como classe 1, e não apresentou similaridade com nenhuma estação na primeira campanha.

Na segunda campanha, devido ao aumento das chuvas, conseqüentemente o aumento da poluição pontual e da poluição difusa, todas as estações do rio Jucu apresentaram similaridades.

5. CONCLUSÃO

Diante deste trabalho, foi possível comprovar que o Rio Jucu está em condições regulares, já que durante a estação chuvosa o índice de poluição aumentou devido à grande carga de efluentes fluviais, domésticos, industriais e agrícolas que o rio recebe, onde os parâmetros afetados são: turbidez, sólidos, DBO e DQO e coliformes termotolerantes e *E. Coli*.

O agrupamento de cluster foi capaz de mostrar a separação das águas de melhor qualidade das de qualidade inferior. Na 2ª campanha todas as estações tiveram suas águas com a qualidade reduzida, as estações mais afetadas foram o JUC01, JUC05 e JUC06.

Os elementos analisados na 1ª campanha como Ca, Mg, Zn, Cr, Co, Cu, Ni, Cd e Pb ficaram todos abaixo do limite permitido para a resolução do CONAMA nº 357/05 para águas, e também para a resolução de CONAMA nº 420/09. As águas superficiais do rio Jucu foram contaminadas por Al e Fe, devido às características do solo do entorno rio, e devido ao seu uso irregular do seu solo, apresentando maiores concentrações durante a estação chuvosa. A turbidez foi o parâmetro mostrou a relação dos sólidos em suspensão na concentração elevada de Fe e Al na segunda campanha.

E o rio também apresentou contaminação pelo Mn, devido este elemento estar presente na agricultura, e contaminação por Cu na segunda campanha, que ocorre principalmente pelos resíduos de indústrias.

A concentração de cromo foi relativamente alta nas amostras de sedimento, passando do limite de 75 mg.Kg⁻¹ no ponto JUC02 na primeira campanha, podendo estar relacionado as indústrias próximas ao local de coleta.

Os elementos traço em sedimento apresentaram uma afinidade com a matéria orgânica em todas as estações do rio, com exceção da estação JUC04.

Em relação ao efeito tóxico para as águas do rio Jucu, o bioensaio com *Lactuca Sativa* revelou que não houve efeito fitotóxico. As amostras de água causaram um efeito estimulante no crescimento das raízes devido à concentração de nutrientes da matéria orgânica, a presença dos elementos traço nessas amostras não foram capazes de provocar algum tipo de inibição significativa.

De forma geral, as águas do rio Jucu estão classificadas como regulares

para o abastecimento de acordo com o IQA aplicado, e em locais próximos as cidades foi possível observar alto índice de poluição. Logo, identificando os principais agentes poluidores, pode-se ajudar na prevenção de possíveis impactos futuros, bem como buscar soluções para a diminuição ou eliminação desses agentes, gerando um benefício para a saúde pública.

Recomenda-se, portanto, que a Agência Estadual de Recursos Hídricos e os demais órgãos pertinentes, sejam vigilantes e mais agressivos no monitoramento e cumprimento das leis de descarga de efluentes, mantendo a população conscientizada dos riscos e problemas ambientais, para garantir a poluição mínima no rio Jucu.

6. REFERÊNCIAS

1. MORENO, J. Fundamentos de Hidrologia. Universidade Metodista de Piracicaba, UNIMEP. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/cxx1e0> acessado em 01 de Julho de 2019.
2. SIQUEIRA, W.; APRILE F.; MIGUÉIS, A. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil), ACTA Amazonica, 42, 413 – 422, 2012.
3. CARVALHO, F.; LEMOS, V.; DANTAS, H. Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas de Belém a partir de Parâmetros Físico-Químicos e Níveis de Elementos Traço Usando Análise Multivariada. Revista Virtual de Química, 7, 2221-2241, 2015.
4. BUZELLI, G., CUNHA-SANTINO, M. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. Revista Ambiente & Água. 8, 186-205, 2013.
5. Elaboração de Projeto Executivo para Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Jucu/RELAT%C3%93RIO%20S%C3%8DNTENSE.pdf> Acessado em 08 de agosto de 2018.
6. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v. 1, 452 p.
7. WEINBERG, A. Uso de índices de qualidade de água para a caracterização da bacia hidrográfica do rio guandu. Monografia. Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. p 6.
8. Agência Nacional das águas, Enquadramento - Bases conceituais. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx> . Acessado em 08 de agosto de 2018.
9. RIBEIRO, E., JUNIOR, A., HORN, A., TRINDADE, W. Metais pesados e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre três marias e Pirapora - MG: Índice de contaminação. Geonomos, 20(1), 49-63, 2012.

10. Conselho Nacional do meio ambiente, RESOLUÇÃO Nº357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em 08 de agosto de 2018.
11. OTT, W. R. Environmental Indices: theory and practice, Ann Arbor Science, Ann, Arbor, Michigan, p. 371. 1978.
12. DERÍSIO, J.C. Introdução ao controle da poluição ambiental. São Paulo: Editora da CETESB. 1992.
13. CARVALHO, A., BALDUINO, A., MACIEL, G., PICANÇO, A. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no Ribeirão São João em Porto Nacional –TO. São Paulo, UNESP, Geociências, 35, 472-484, 2016.
14. GASTALDINI, M.C.C.; SOUZA, M.D.S. "Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí- Mirim através de Índices de Qualidade de Água", 1º Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre. 1994.
15. FERREIRA, M. A.; SANTOS E. C.; LIMA J. E. Índice de avaliação ambiental: Uma análise a partir de modelos estatísticos multivariados. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 26, 177-190, 2016.
16. Índice e Indicadores de Qualidade de Água: Revisão da Literatura, 2006. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>> acessado em: 8 de agosto de 2018.
17. LERMONTOV, A. Novo Índice de Qualidade das Águas com uso da Lógica e Inferência Nebulosa. Tese de Doutorado. Universidade do Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química. Rio de Janeiro/RJ, Brasil. EQ/UFRJ, 2009.
18. SOUZA, M. E. T. A. Proposição de um Índice de Qualidade da Água Bruta Afluente a Estações Convencionais de Tratamento de Água. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte/MG, Brasil. UFMG, 2008.
19. Agência Nacional das Águas, Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil 1ª edição. Brasília/DF, Brasil. 2012.
20. Agência Nacional das Águas, Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil. 1ª edição. Brasília/DF, Brasil. 2005.
21. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2006. São Paulo/SP, Brasil. Secretaria do meio ambiente e CETESB - companhia ambiental do estado de São Paulo, 2007.
22. Índice de Qualidade das Águas, 2013. Disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>> acessado em 8 de agosto de 2018.
23. JUNIOR, B., SIMOURA, L. Cobertura florestal e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. Scientia Plena. 12. 1-15. 2016.

24. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013: resumo executivo / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2014. 17p.
25. ZANINI, H. L. T., AMARAL, L. A., ZANINI, J.R., TAVARES, L. H. S. Caracterização da água da microbacia do córrego rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico. Engenharia agrícola. 30, 732-741, 2017.
26. BERTOSSI, A. P. A., CECÍLIO, R. A., NEVES, M. A., GARCIA, G. O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. Revista Árvore. 37, 107-117, 2012.
27. EFFENDIA, H. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. Procedia Environmental Sciences. 24, 228 – 237, 2015.
28. PEDROSO, L. B., COLESANTI, M. T. M. Determinação do índice de qualidade de água da bacia hidrográfica do ribeirão da areia – goiás, em período de estiagem. Caminhos de Geografia. 18, 219-230, 2017.
29. ŞENER, Ş., ŞENER, E., DAVRAZ. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment, 584-585, 131-144, 2017
30. PRATTE-SANTOS, R. Estudo da Qualidade das Águas do Rio Jucu, ES: Caracterização Limnológica e análise e a Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos. Dissertação (mestrado), Vila Velha, 2010.
31. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009. 2ª edição. Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.
32. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. 2006. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acessado em 08 de agosto de 2018.
33. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA), 2017. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acessado em 08 de agosto de 2018.
34. BRITO, D. C. Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2KW em grandes rios: o caso do alto e médio o Rio Araguari – AP. Dissertação de mestrado do PPGBio/UNIFAP. Macapá – AP, 2008, 130p.
35. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. 2006. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acessado em 08 de agosto de 2018.
36. Manual da Química. Solubilidade. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/solubilidade.htm>> acessado em 01 de Julho de 2019.
37. Oxigênio dissolvido e matéria orgânica em águas. Qualidade Das Águas E Poluição: Aspectos Físico-Químicos. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%20>>

- 10%20-%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia_Organica.pdf> Acessado em 08 de agosto de 2018.
38. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Disponível em <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/meier/materiais/Dissolu__o_O2_em_água_Lei_Henry.pdf> acessado em 08 de agosto de 2018.
 39. SOUSA, E. R. D. Noções Sobre Qualidade de Água: Parâmetros de Caracterização de uma Massa de Água. Instituto Superior Técnico. Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georecursos. Lisboa, Portugal. 2001.
 40. PEREIRA, R. D. S. Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos (RERH). 1, 20-36, 2004.
 41. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009. 2ª edição. Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.
 42. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Disponível em <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/meier/materiais/Dissolu__o_O2_em_água_Lei_Henry.pdf> acessado em 08 de agosto de 2018.
 43. SILVA, A. A. R.; QUEIROS, M. T. A.; VEADO, M. A. R.; ALÍPIO, V. C. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) E PH COMO PARÂMETROS INDICADORES DE POLUIÇÃO NO RIO PIRACICABA – MG. 10ª Semana de Iniciação Científica e 1ª Semana de Extensão - UnilesteMG "Iniciação Científica e Extensão: diferenciais acadêmicos." 2009.
 44. FIORUCCI, A. R.; FILHO E. B.; Oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos. Química nova na escola, nº 22, 10-16, 2005.
 45. Análise da condutividade elétrica e do pH em água salobra no cultivo de tilápias, 423–430. 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46186/1/66-Valdivia.pdf>> acessado em 08 de agosto de 2018.
 46. BRITO, D. C. Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2KW em grandes rios: o caso do alto e médio o Rio Araguari – AP. Dissertação de mestrado do PPGBio/UNIFAP. Macapá – AP, 2008, 130p.
 47. CETESB. Condutividade. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>> acessado em 08 de agosto de 2018.
 48. SPERLING, Marcos Von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª Edição. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005.
 49. SALLES, R. C. Elementos Traço em Água e Sedimento na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória (ES). Tese de doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.
 50. ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10664. Águas. Determinação de resíduos (sólidos). Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.

51. JULLY, L., CORREIA, H., JOSANA, A., FERNANDES, D., LACERDA, M. M. Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba – Cabedelo, (357), 47–54, 2014.
52. CAMPECHE, F. B.; PAULINO, V.; DÁRIO, D.; CASTRO, E. B. Análise da condutividade elétrica e do pH em água salobra no cultivo de tilápias. *Embrapa Semiárido*, 6, 423–428, 2011
53. SILVA, T. T. Monitoramento da qualidade da água da foz do rio Santa Maria da Vitória e da baía de Vitória – ES, por meio de estudos sistemáticos de parâmetros físico-químicos e biológicos. Monografia de conclusão de curso. Departamento de Química-CCE, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016, 23p.
54. ALMEIDA, J. C. Avaliação do Índice de Qualidade da Água na Lagoa dos Patos. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013, 19p.
55. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009. 2ª edição. Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.
56. VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. *Eclét. Quím.* 22, 1997.
57. Avaliação da série nitrogenada na rede poços de abastecimento da cidade do Natal. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23377/15467>>. Acessado em 08 de agosto de 2018.
58. Matéria Orgânica e Nutrientes. Cetesb. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>> acessado em 08 de agosto de 2018.
59. BAZONI, C.H.V.; KLEINERT, J.J.; GERMANO, M.G.; LEITE, R.S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Determinação de matéria orgânica em amostras de solo - Estudo comparativo de métodos. VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. Londrina-PR, 63-67, 2013.
60. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - Apêndice E - Significado ambiental das variáveis de qualidade, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>
61. SOUSA, J. B.; NASCIMENTO, F. R.; SOUZA, C. A. Elementos traços em água de rios, córregos, nascentes e represa na bacia hidrográfica do Ribeirão areado, região do alto Rão Francisco-MG, Brasil. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/Procesosambientales/Hidrologia/07.pdf>> Acessado em 16 de agosto de 2018.
62. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

63. CONCEIÇÃO, G. Distribuição de elementos-traço em sedimentos superficiais do Rio Itajaí-Mirim em Santa Catarina. Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Blumenau-SC, 2004. Dissertação de Mestrado, 108p.
64. PEREIRA, J. C.; GIMARÃES-SILVA, A. K.; JUNIOR H. A. N.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J. C. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. Química nova, 30, 1249-1255, 2007.
65. FÖRSTNER, U.; Trends Anal. Chem. 23, 217, 2004.
66. CORINGA, J. E. S. Fracionamento Geoquímico de Metais em Sedimentos e Avaliação da Qualidade da Água do Rio Bento Gomes, Pantanal de Poconé, Mato Grosso. Universidade Estadual Paulista, Araraquara-SP. Tese de doutorado, 2014.
67. CRUVINEL, P. B.; ROSOLEN, V. Avaliação da contaminação química de sedimentos no Córrego Liso (Uberlândia, MG): subsídios para estudos de qualidade ambiental. 2008. Disponível em: <www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4448/7944>. Acessado em 7 de agosto de 2018.
68. LEMES, M. J. L.; FILHO, P. M. F.; PIRES, M. A. F. Influência da mineralogia dos sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogiguaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. Química Nova, 26, 13-20, 2003.
69. CONAMA, RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>> acessado em 20 de agosto de 2018.
70. DALFIOR, B. M. Estudo dos teores de Pb, Cd, Sn, Co, V, Hg, Mo e As em sedimento, musgos e fungos liquenizados, da Ilha Rei George, Península Fildes, Antártica utilizando a técnica de ICP-MS. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2015.
71. PEIXOTO, E. M. A. Cálcio. Química nova na escola, 20, 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc20/v20a12.pdf>. Acessado em 02 de agosto de 2018.
72. PEIXOTO, E. M. A. Magnésio. Química nova na escola, 12, 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc12/v12a11.pdf> Acessado em 03 de agosto de 2018.
73. Revisão da Literatura. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7653/7653_4.PDF> acessado em 03 de agosto de 2018.
74. FERRO – Da explosão de supernovas ao aço e hemoglobina. Disponível em: <<http://www.gpquae.iqm.unicamp.br/PIBIDtextFerro2013.pdf>> acessado em 03 de agosto de 2018.
75. Elementos Químicos: Ferro. Disponível em: <<http://elementos-quimicos.info/elementos-quimicos/ferro.html>> acessado em 03 de agosto de 2018.
76. Medeiros, M. A. Ferro. Química nova na escola, 32, 208-210, 2010.
77. Ficha de informação toxicológica – Manganês. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Mangan%C3%AAAs.pdf>> acessado em 03 de agosto de 2018.

78. GIANNETTI, B. F. ; ALMEIDA, C. M. V. B. ; BONILLA, S. H. ; VENDRAMETO, O. . Nosso cromo de cada dia: benefícios e riscos. *Revista de Graduação da Engenharia Química*, 8, 55-58, 2001.
79. SILVA, L. A. Avaliação da biodisponibilidade de metais em amostras de sedimentos do Rio Uberabinha (Uberlândia - Minas Gerais). Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Monica, Programa de Pós-Graduação em Química, Uberlândia-MG, 2009. Dissertação de Mestrado, 75p.
80. Ficha de Identificação Toxicológica (FIT) – Crômio e seus compostos. São Paulo-SP, 2012. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>> Acessado em 02 de agosto de 2018.
81. CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. *Rev. Bras. de Agrociência*, 7, 121-124, 2001.
82. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Identificação Toxicológica (FIT) – Crômio e seus compostos. São Paulo-SP, 2012d. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>> Acessado em 2 de agosto de 2018.
83. Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. 39,129-139, 2003.
84. Fixa de Informação toxicológica – Cobre. <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cobre.pdf> Acessado em 02 de agosto de 2018
85. Fixa de Informação toxicológica – Níquel e seus compostos. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Niquel.pdf>> acessado em 02 de agosto de 2018.
86. SILVA, K. M. D.; REZENDE, L. C. S. H.; SILVA, C. A.; BERGAMASCO, R.; GONÇALVES, D. S. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tinta. *Evangelista*, 15, 43 – 50, 2013.
87. ZHAO, A., Q.; TIAN, X. H.; LU, W. H.; GALE, W. J.; LU, X. C.; CAO, Y. X. Effect of zinco and cádmium toxicity in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 1372–1385, 2011.
88. Fixa de Informação toxicológica- Alumínio. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2018/05/Alum%C3%ADnio.pdf>> Acessado em 02 de agosto de 2018.
89. SCHIFER T. S.; JUNIOR, S. B.; MONTANO, M. A. E. Aspectos toxicológicos do chumbo. *Infarma*, 17, 67-72, 2005.
90. SAMPAIO, G. M. S. Determinação de elementos-traço em amostras de formações ferríferas por ICP-MS e produção de um material de referência para controle de qualidade. Dissertação de mestrado. Instituto de geociências da UNICAMP, Campinas-SP, 2012.
91. SORARES, R. ESCALEIRA, V. MONTEIRO, M. I. C., PONTES, F. V. M. SANTELLI, R. E., BERNARDI, A. C. C. Uso de ICP OES e titrimetria para a determinação de cálcio, magnésio

- e alumínio em amostras de solos. R. Bras. Ci. Solo, 34:1553-1559, 2010.
92. PETRY, C. F. Determinação de Elementos Traço em amostras ambientais por ICP OES. Dissertação de mestrado. Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
 93. MENEGUETTI, D. U. O.; SILVA, F. C.; ZAN, R. A.; POLETTI P. O.; RAMOS, L. J. Adaptação da técnica de micronúcleo em *Allium cepa*, para futuras análises de mutagenicidade dos rios da região do vale do Jamari, Rondônia, Amazônia Ocidental. Revista Pesquisa & Criação, 10, 181-187, 2011.
 94. RODRIGUES, L. C.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B. S.; BEIJO, L. A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17, 1099–1108, 2013.
 95. COELHO, E. J. R. Dissertação de mestrado. Respostas fisiológicas e citogenéticas em raízes de *Allium cepa* L. Expostas às amostras de água e sedimento de três represas da bacia do rio Santa Maria da Vitória (ES, Brasil). Curso de Biologia Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.
 96. CARVALHO, F. I. M.; LEMOS, V. P.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F. Rev. Virtual Quim. 7,2221-2241,2015.
 97. POPPI, R. J.; SOUZA, A. M. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. Quím. Nova. 35,223-229, 2012.
 98. DEINA, M. A.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S. Variação morfológica do cordão litorâneo associado à foz do Rio Jucu (ES). Revista Geografares, nº9, 203-230, 2011.
 99. TERRA, V., PRETTE-SANTOS, R. Monitoramento do rio Jucu Braço Sul: Caracterização e avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Natureza On line, 7, p. 5-11, 2009.
 100. Comitê da bacia hidrográfica do rio Jucu. Disponível em < <https://agerh.es.gov.br/cbh-jucu> > acesso 30 de agosto de 2018.
 101. TERRA, V., PRETTE-SANTOS, R. Avaliação microbiológica das águas superficiais do rio Jucu Braço Sul, ES, Brasil. Natureza On line, 6(1), p. 48-52. 2008.
 102. GUIMARÃES, B. Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. Eng Sant Ambient. 2. 807-815. 2016
 103. TERRA, V., PRETTE-SANTOS, R. Perspectivas da avaliação da qualidade da água em rios por intermédio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Natureza On line, 6(2), 63-65. 2008.

104. RIBEIRO, W. Grande Vitória tem quase metade das nascentes secas. 2016. Disponível em <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/10/grande-vitoria-tem-quase-metade-das-nascentes-secas.html>> Acesso em 30 de maio de 2017.
105. Bacia hidrográfica do Rio Jucu. Disponível em <<http://riojucu1c-up.blogspot.com.br/p/bacia-hidrografica-do-rio-jucu.html>> acesso em 18 de maio de 2017.
106. Descida do Rio Jucu' é cancelada por causa da poluição, no ES. Disponível em <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/03/descida-do-rio-jucu-e-cancelada-por-causa-da-poluicao-no-es.html>> acesso em 18 de maio de 2017.
107. Boletim semanal de vazão dos rios. Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/>> acessado em 08 de agosto de 2018.
108. Rio Jucu tem 90 vezes mais poluição que o permitido, diz ambientalista no ES. Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/rio-jucu-tem-90-vezes-mais-poluicao-que-o-permitido-diz-ambientalista-no-es.ghtml>. Acessado em 05 de setembro de 2018.
109. Elaboração de Projeto Executivo para Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/CBHs%20Jucu%20e%20Santa%20Maria%20-%20RT4_Cen%C3%A1rios%20de%20Enquadramento%20aprovados.pdf>. Acessado em 05 de setembro de 2018.
110. Projeto de restauração e conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos no estado do Espírito Santo, nas bacias dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/CBHs%20Jucu%20e%20Santa%20Maria%20-%20REB_Etapa%20B_Processo%20e%20Defini%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Enquadramentos.pdf> acessado em 08 de agosto de 2018.
111. Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural, INCAPER. Inverno. Disponível em < <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/estacoes-do-ano-inverno>> acessado em 15 de agosto de 2018.
112. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 21 th edition, Washington: American Public Health Association, 2005.
113. CARMO D. L., SILVA C. A. MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO E MATÉRIA ORGÂNICA EM RESÍDUOS ORGÂNICOS. R. Bras. Ci. Solo, 36,1211-1220, 2012.
114. software QualiGraf_2018. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/> . acessado em 01 de agosto de 2018.
115. RIETZLER, A. C., FONSECA, A. L.; LOPES, G. P. Heavy Element traços in Tributaries of Pampulha Reservoir, Minas Gerais. Brazilian Journal Biology. 61(3), 363-370. 2001.

116. OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. Revista Eletrônica Nutritime 2008, 6, 777
117. Instituto Nacional de Metrologia, INMET. Gráficos. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>> acessado em 15 de agosto de 2018.
118. Conselho Nacional do meio ambiente, RESOLUÇÃO N°430, DE 13 DE MAIO DE 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> acessado em 16 de agosto de 2018.
119. FERREIRA, R. J. S. Determinação de elementos traço em sedimentos de rios: caso da bacia do Baixo Itajaí-Açu. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
120. McNEIL, V. H.; COX, M. E.; PRED, M. Assessment of chemical water types and their spatial variation using multi-stage cluster analysis, Queensland, Austrália. Journal of Hydrology, 310, 181-200, 2005.
121. LOPES, F. W. A.; JR, A. P. M. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. Geografias. 6(2) 134-147, 2010.
122. BORGES, M.J.; GALBIATTI, J.A.; FERRAUDO, A.S. Monitoramento da qualidade hídrica e eficiência de interceptores de esgotos em cursos d' água urbanos da Bacia Hidrográfica do Córrego Jaboticabal. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8, 161- 171, 2003.
123. PAPA, R. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Qualidade de latossolos vermelhos e vermelho-amarelos sob vegetação nativa de cerrado. Pesq. Agropec. Trop. 41, 564-571. 2011.
124. NETTO, I. T. P. Qualidade física e química de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
125. ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C.; Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. Eng Sanit Ambient, 22, 45-56, 2017.
126. ORAM BRIAN. Water Testing Total Dissolved Solids Drinking Water Quality. 2014. Disponível em: <https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/total-dissolved-solids> .Acessado em 28 de Fevereiro de 2019.
127. VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. Eclét. Quím. 22, 1997.
128. ZONTA, J.H.; ZONTA, J.B.; RODRIGUES, J.I.; REIS, E.F. Qualidade das águas do Rio Alegre, Espírito Santo. Rev. Ciên. Agron. 39(1):155-161, 2008.

129. RESOLUÇÃO CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acessado em 16 de agosto de 2018.
130. BONNET, B.R.P.; FERREIRA, L.G.; LOBO, F.C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da Bacia Hidrográfica. *Revista Árvore*. 32(2), 311-322, 2008.
131. DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA R.; NIELL X. Evaluation of water quality in the Chillán river (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index *Environmental Monitoring and Assessment*, 110: 301–322, 2005.
132. BORDALO, A. A.; TEIXEIRA, R.; WIEBE, W. J. A Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River. *Environ Manage*. 38:910–920, 2006.
133. NIENIE, A. B.; SIVALINGAM, P.; LAFFITE, A.; NGLINKOTO, P.; OTAMONGA, J.; MATAND, A.; MULAJI, C. K.; MUBEDI, J. I.; MPIANA, P. T.; POTÉ, J. Seasonal variability of water quality by physicochemical indexes and traceable elements in suburban area in Kikwit, Democratic Republic of the Congo. *International Soil and Water Conservation Research*. 5, 158-165, 2017.
134. MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; JÚNIOR G. C. S.; MANSUR K. L.; OLIVEIRA, E. S. (2009) Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos – RJ. *Eng. Agríc*. 2009.
135. ROSOLEN, V.; HERPIN U.; COELHO, N. M. M.; COELHO, L. M.; BRITO, J. L. S; SILVA, L. A.; LIMA, S. C. (2009) Qualidade dos sedimentos no rio Uberabinha (Uberlândia, MG) e implicações ambientais. *Revista Brasileira de Geociências*. 39(1): 151-159.
136. PEDROSO M.F.M.; LIMA I.V. Ecotoxicologia ambiental do cobre e seus compostos. *Série Cadernos de Referência Ambiental* 2, 128, 2001.
137. SANTOS, L.T. S. O.; Análise Da Qualidade Da Água Superficial Do Rio Subaé- Bahia E Influência Do Uso E Ocupação Do Solo Em Seu Entorno. *Dissertação de mestrado*. Universidade Estadual De Feira De Santana Departamento De Ciências Exatas, Bahia, 2013.
138. RODRIGUES, L. C. DE A.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B. DE S.; BEIJO, L. A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.10, p.1099–1108, 2013.
139. TIGINI, V.; GIANANTI, P.; MANGIAVILLANO, A.; PANNOCCCHIA, A.; VARESE, G. C. Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.74, p.866-873, 2011.
140. ALVIM, L. B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.6, p.255-165, 2011.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela A1. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da 1ª campanha/2017.

1ª CAMPANHA							
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	CONAMA 357/05 c II
Hora	09:18	11:20	12:20	14:37	15:43	16:30	-
T (°C) da amostra	21,30±0,30	22,80±0,30	23,00±0,30	23,80±0,30	21,00±0,30	21,10±0,30	-
OD (mg.L⁻¹)	11,04±0,20	12,96±0,20	13,19±0,20	11,66±0,20	11,86±0,20	13,52±0,20	> 5
CE(µS.cm⁻¹)	68,50±0,68	48,50±0,48	57,50±0,57	45,50±0,45	51,50±0,51	62,00±0,62	-
pH	6,97±0,10	7,65±0,10	7,69±0,10	7,71±0,10	7,64±0,10	7,91±0,10	6 a 9
Turbidez (UNT)	4,50±0,23	3,6±0,18	5,01±0,26	6,30±0,32	7,40±0,37	16,7±0,84	< 100
NTK(mg.L⁻¹)	1,31±0,29	1,51±0,00	2,07±0,07	0,71±0,29	0,10±0,00	1,56±0,07	3,7 pH <7,5 2,0 pH 7,5 a 8 1,0 pH 8,0 a 8,5 0,5 pH > 8,5
Fósforo (mg.L⁻¹)	0,03	0,04	0,05	0,02	0,05	0,09	<0,1
DQO(mg.L⁻¹)	68,81±26,79	155,15±5,20	9,28±2,52	83,70±8,37	3,32±0,50	9,28±8,42	-
DBO(mg.L⁻¹)	38,85	63,33	<5	46,06	<5	<5	<5
Coliformes NMP/100mL	Presente	Presente	Ausente	Presente	Presente	Presente	-
Salinidade (ng.L⁻¹)	0	0	0	0	0	0	<5 ng.L ⁻¹
ST (mg.L⁻¹)	119,88±86,85	1173,32±150,70	970,05±23,57	1955,56±156,40	103,35±40,18	135,55±109,61	-
SDT(mg.L⁻¹)	38,50±0,00	164,44±0,00	26±0,00	26±0,00	28,5±0,00	35,5±0,00	<500
MO (%)	10,31±0,11	10,23±0,96	13,28±0,98	17,54±0,32	9,37±0,21	9,70±0,13	-

* T= temperatura,
 OD = Oxigênio dissolvido,
 CE = Condutividade elétrica,
 NTK = nitrogênio Total Kjeldahl,
 ST = sólidos totais,
 SDT = Sólidos dissolvidos totais,
 DBO = Demanda bioquímica de oxigênio, DQO= Demanda Química de oxigênio.

Tabela A2. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da 2ª campanha/2018.

2ª CAMPANHA							
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	CONAMA 357/05 c II
Hora	08:20	09:30	10:00	11:50	12:45	13:20	-
T (°C) da amostra	24,70±0,30	26,0±0,30	25,90±0,30	26,60±0,30	26,10±0,30	27,10±0,30	-
OD (mg.L⁻¹)	11,26±0,20	10,79±0,20	12,2±0,20	14,39±0,20	10,58±0,20	10,13±0,20	> 5
CE(μS.cm⁻¹)	64,00±0,64	51,00±0,51	46,00±0,46	45,00±0,45	45,00±0,45	48,00±0,48	-
pH	6,17±0,10	7,00±0,10	6,95±0,10	7,18±0,10	7,03±0,10	6,80±0,10	6 a 9
Turbidez (UNT)	154,00±7,70	105,00±5,25	120,00±6,00	82,50±4,12	86,60±4,33	85,30±4,27	< 100
NTK(mg.L⁻¹)	0,50±0,01	0,20±0,10	0,08±0,02	0,05±0,00	0,05±0,00	0,02±0,00	3,7 pH <7,5 2,0 pH 7,5 a 8 1,0 pH 8,0 a 8,5 0,5 pH > 8,5
Fósforo (mg.L⁻¹)	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	<0,1
DQO(mg.L⁻¹)	52,88±0,01	92,94±0,02	30,12±0,01	67,45±0,03	91,12±0,03	51,97±0,01	-
DBO(mg.L⁻¹)	29,08	51,12	16,00	9,00	30,00	48,00	<5
E. Coli. NMP/100mL	2,3x10 ³	1,4x10 ²	1,6x10 ²	3,2x10 ²	3,8x10 ²	8,7x10 ⁴	-
Salinidade (ng.L⁻¹)	0	0	0	0	0	0	<5 ng.L ⁻¹
ST (mg.L⁻¹)	153,33±26,67	117,78±15,39	133,33±9,43	160±63,60	148,89±53,47	117,78±40,73	-
SDT(mg.L⁻¹)	32,00±0,00	26,00±0,00	23,00±0,00	22,00±0,00	23,00±0,00	24,00±0,00	<500
MO (%)	9,98±0,05	3,09±0,04	12,13±0,11	7,58±0,17	9,17±0,13	11,37±0,23	-

* T= temperatura,
 OD = Oxigênio dissolvido,
 CE = Condutividade elétrica,
 NTK = nitrogênio Total
 Kjeldahl,
 ST = sólidos totais, SDT =
 Sólidos dissolvidos totais,
 DBO = Demanda
 bioquímica de oxigênio,
 DQO= Demanda Química
 de oxigênio.

Tabela A3. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da AGERH do mês de Julho/Agosto de 2017.

	1ª CAMPANHA						CONAMA 357/05 c II
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	
Hora	09:45	10:30	10:55	11:50	10:48	11:20	-
T (°C) da amostra	20,2±0,30	19,13±0,30	18,57±0,30	18,7±0,30	17±0,30	17±0,30	-
pH	7,54±0,10	8,09±0,10	8,08±0,10	8,33±0,10	7,90±0,10	7,80±0,10	6 a 9
OD(mg.L⁻¹)	8,58±0,20	9,43±0,20	9,29±0,20	9,11±0,20	8,9±0,20	9,3±0,20	>5
CE(µS.cm⁻¹)	71,80±0,72	47,30±0,47	54,10±0,54	48,90±0,49	75,90±0,76	44,90±0,45	-
Turbidez(UNT)	13,90±0,70	12,00±0,60	14,00±0,70	13,87±0,69	13,60±0,68	12,30±0,62	<100
Nitrogênio A.Total (mg.L⁻¹)	0,17±0,03	0,01±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,03±0,00	0,26±0,04	
NTK(mg.L⁻¹)	<1,0	<1	<3	<1,0	6,793	1,931	3,7 pH <7,5 2,0 pH 7,5 a 8 1,0 pH 8,0 a 8,5 0,5 pH > 8,5
DBO(mg.L⁻¹)	<3,0	<3	<3	<3,0	<3	<3	<5
DQO(mg.L⁻¹)	9,00±0,99	5,00±0,55	<3	3,00±0,33	6,00±0,66	10,00±0,11	-
SST(mg.L⁻¹)	<10,0	<10	<10,0	<10,0	15,00±3,00	<10	-
SDT(mg.L⁻¹)	69,30±23,86	33,00±6,60	62,30±12,46	61,70±12,34	21,00±4,20	42,00±8,40	<500
ST(mg.L⁻¹)	74,00±14,80	34,00±6,80	66,00±13,20	64,00±12,80	36,00±7,20	46,00±9,20	-
Nitrito(mg.L⁻¹)	<0,01	<0,01	0,027±0,00	<0,01	0,02±0,00	0,02±0,00	<1
Nitrato(mg.L⁻¹)	0,90±0,07	0,77±0,06	1,00±0,08	0,60±0,05	0,49±0,04	0,55±0,04	<10
Salinidade(ng.L⁻¹)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<5
Fosforo Total (mg.L⁻¹)	0,07±0,01	0,67±0,07	0,1±0,01	0,09±0,01	0,06±0,01	0,1±0,01	<0,1
Coliformes (NMP/100mL)	<1,8	110	20	330	3.500,0	<1,8	<1000

* T= temperatura,
 OD = Oxigênio dissolvido,
 CE = Condutividade elétrica,
 NTK = nitrogênio Total Kjeldahl,
 ST = sólidos totais,
 SDT = Sólidos dissolvidos totais,
 SST = sólidos suspensos totais,
 DBO = Demanda bioquímica de oxigênio,
 DQO= Demanda Química de oxigênio.

Tabela A4. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da AGERH do mês de Janeiro/Fevereiro 2018.

2ª Campanha							
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	CONAMA 357/05 c II
Hora	10:55	11:28	13:15	12:09	11:05	11:55	-
T (°C) da amostra	26±0,30	26±0,30	25±0,30	26±0,30	22±0,30	22±0,30	-
pH	7,10±0,10	7,90±0,10	7,80±0,10	7,60±0,10	8,10±0,10	7,90±0,10	6 a 9
OD(mg.L⁻¹)	7,2±0,20	7,8±0,20	7,9±0,20	7,6±0,20	7,9±0,20	8,1±0,20	>5
CE(µS.cm⁻¹)	14,30±0,14	7,40±0,74	7,80±0,78	7,20±0,72	5,90±0,59	5,90±0,59	-
Turbidez(UNT)	13,70±0,69	11,50±0,58	20,60±1,03	73,10±3,66	83,10±4,16	99,90±5,00	<100
Nitrogênio A.Total (mg.L⁻¹)	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	
NTK(mg.L⁻¹)	1,8	<1,0	1,5	1,3	<1	1,3	3,7 pH <7,5 2,0 pH 7,5 a 8 1,0 pH 8,0 a 8,5 0,5 pH > 8,5
DBO(mg.L⁻¹)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<5
DQO(mg.L⁻¹)	3±0,33	<3	5,00±0,55	5,00±0,55	<3	<3	-
SST(mg.L⁻¹)	115,00±23,00	123,00±24,60	115,00±23,00	109,00±21,80	148,00±29,60	115,00±23,00	-
SDT(mg.L⁻¹)	317,00±63,40	171,00±34,20	193,00±38,60	143,00±28,60	68,00±13,60	101,00±20,20	<500
ST(mg.L⁻¹)	432,00±86,40	294,00±58,80	308,00±61,60	252,00±50,40	216,00±43,20	216,00±43,20	-
Nitrito(mg.L⁻¹)	0,03 ±0,00	0,06 ±0,00	0,05±0,00	0,01±0,00	<0,01	0,03±0,00	<1
Nitrato(mg.L⁻¹)	<0,23	1,50±0,12	0,45±0,04	0,65±0,05	0,32±0,03	0,65±0,05	<10
Salinidade(ng.L⁻¹)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<5
Fosforo Total (mg.L⁻¹)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
Coliformes (NMP/100mL)	2.400,00	3.500,00	2.200,00	330	13.000,00	13.000,00	<1000

* T= temperatura,
 OD = Oxigênio dissolvido,
 CE = Condutividade elétrica,
 NTK = nitrogênio Total Kjeldahl,
 ST = sólidos totais,
 SDT = Sólidos dissolvidos totais,
 SST = sólidos suspensos totais,
 DBO = Demanda bioquímica de oxigênio,
 DQO= Demanda Química de oxigênio

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Temperaturas Diárias (Máxima, Média, Mínima)

Estação: VITORIA (ES) - 07/2017

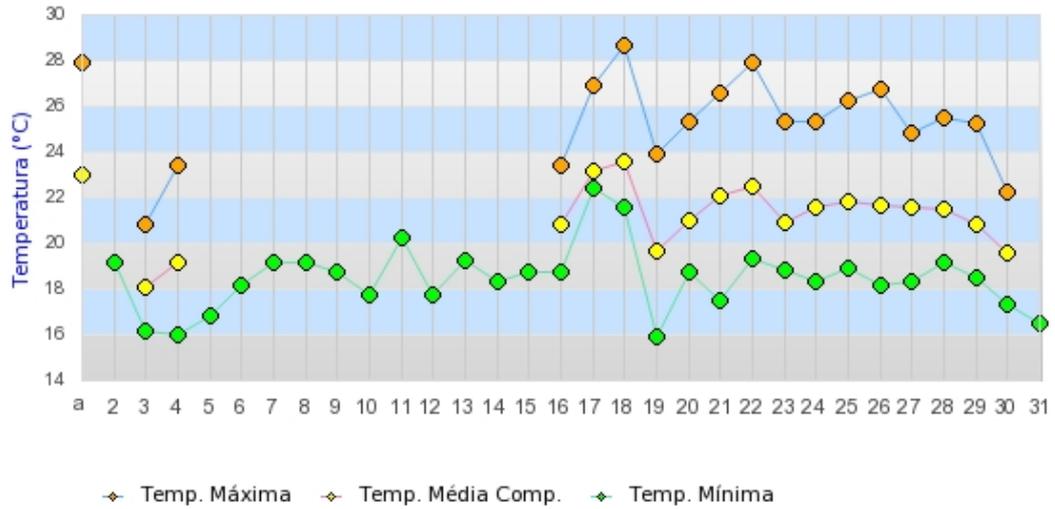


Figura A1. Valores de temperaturas referente ao mês de Julho/2017 em Vitória/ES.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Temperaturas Diárias (Máxima, Média, Mínima)

Estação: VITORIA (ES) - 08/2017

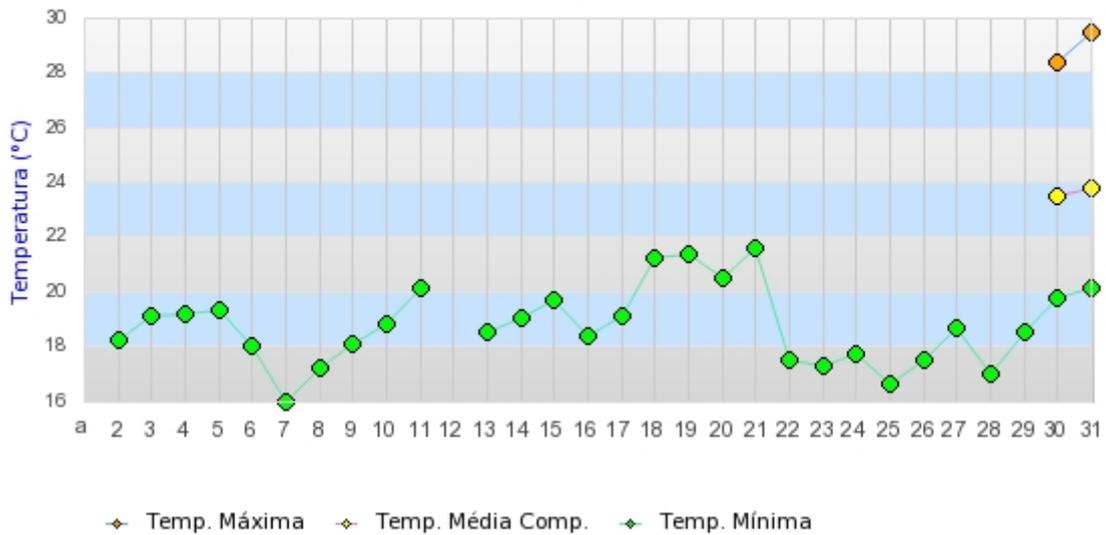


Figura A2. Valores de temperatura referente ao mês de Agosto/2017 em Vitória/ES.

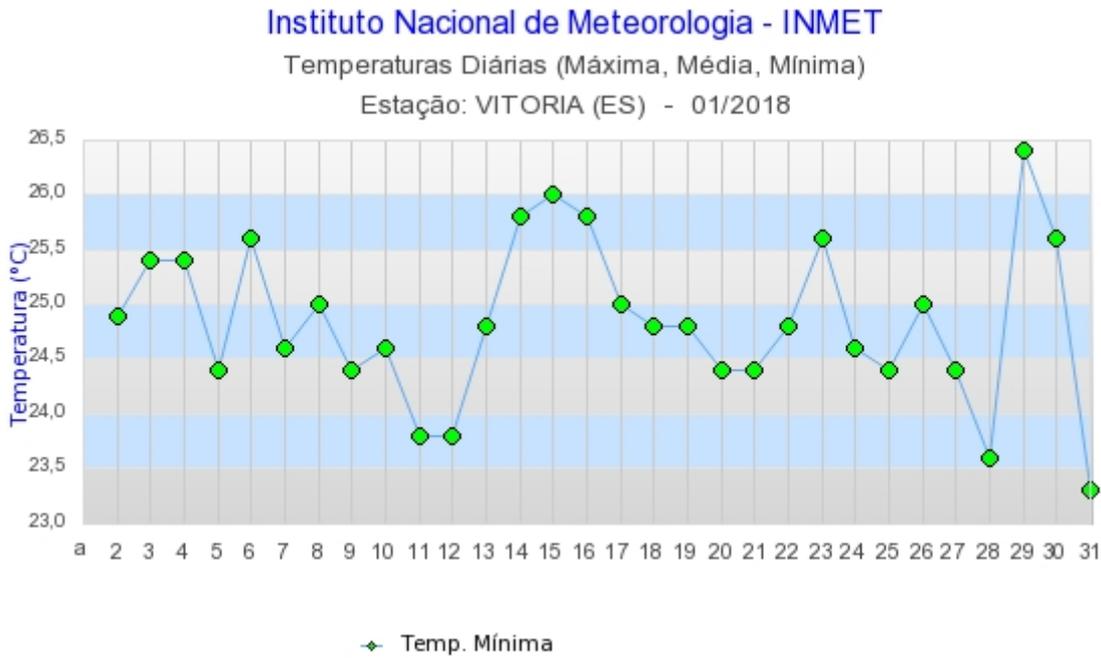


Figura A3. Valores de temperatura referente ao mês de Janeiro/2018 em Vitória/ES.

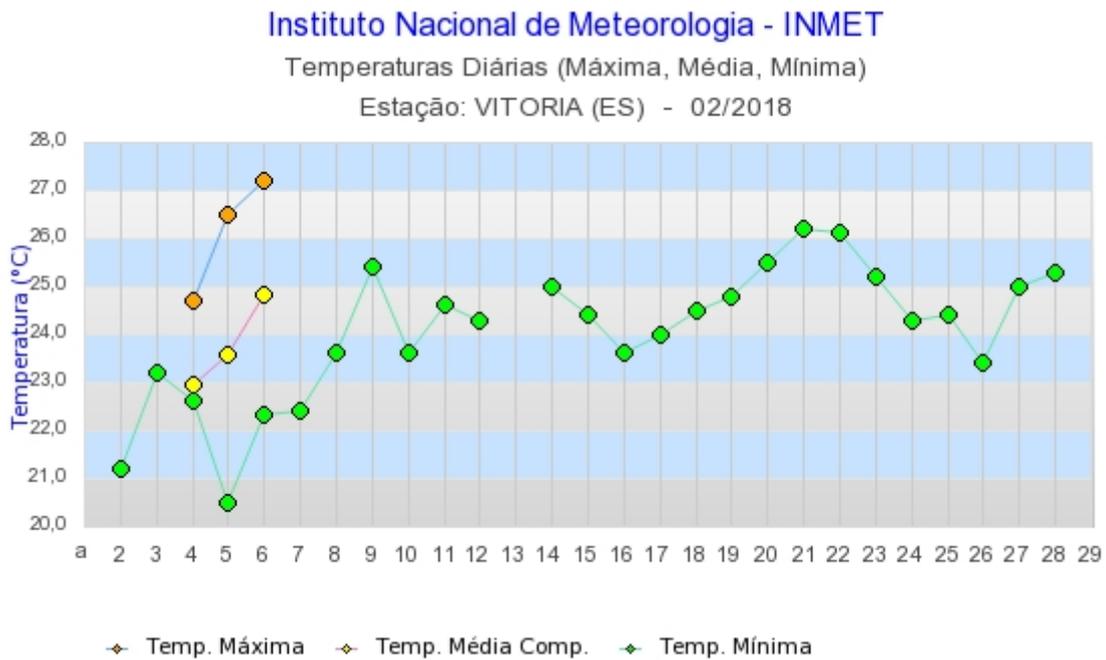


Figura A4. Valores de temperatura referente ao mês de Fevereiro/2018 em Vitória/ES.

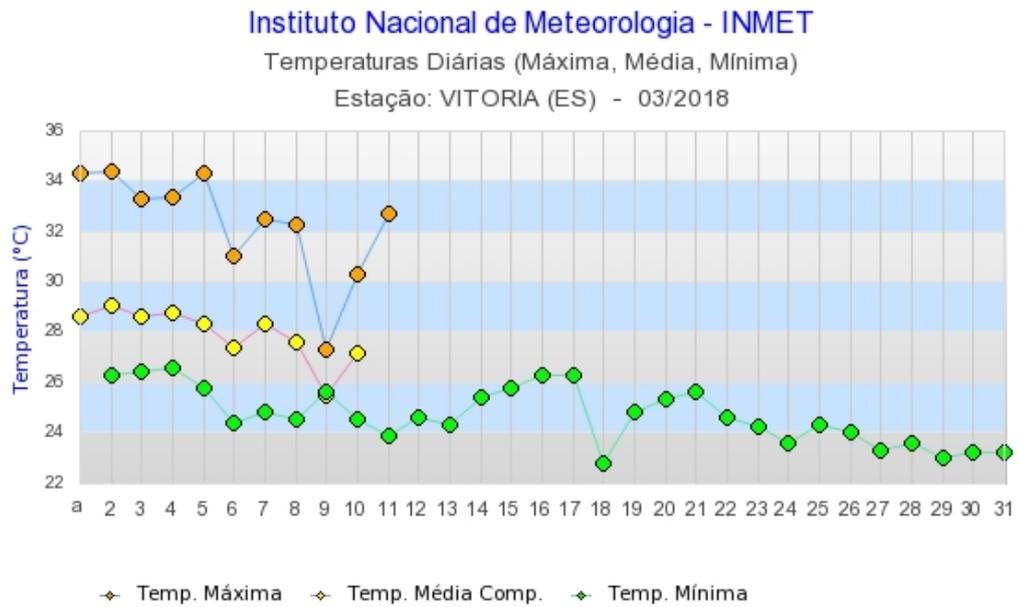


Figura A5. Valores de temperatura referente ao mês de Março/2018 em vitória/ES.



Figura A6. Acumulado de chuva referente ao mês de Julho/2017.

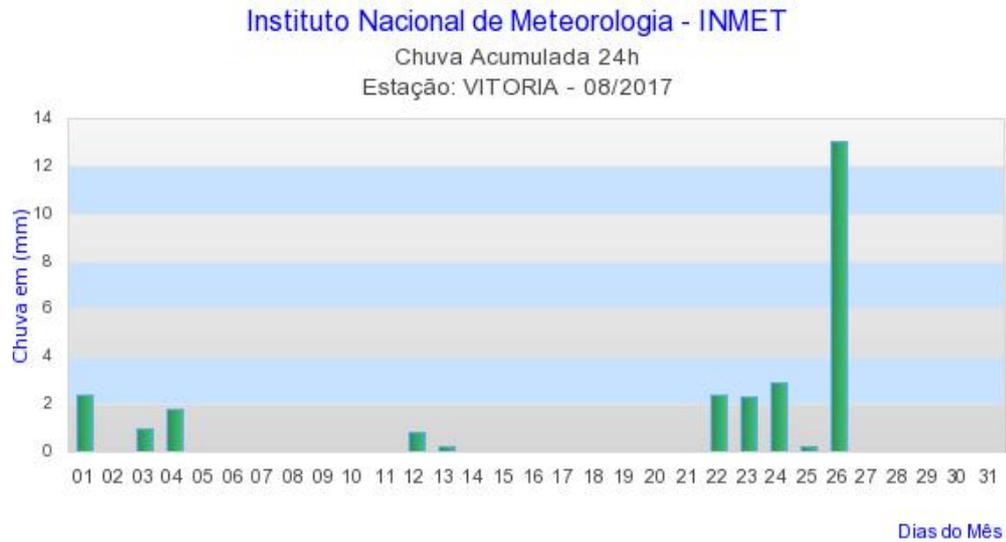


Figura A7. Chuva acumulada referente ao mês de Agosto/2017.

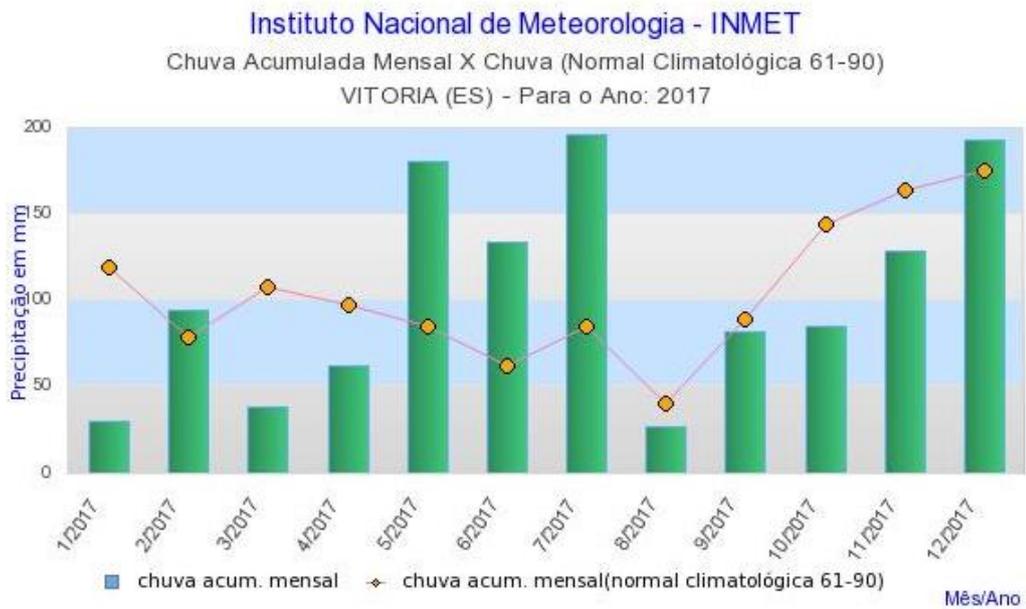


Figura A8. Chuva acumulada para o ano de 2017.

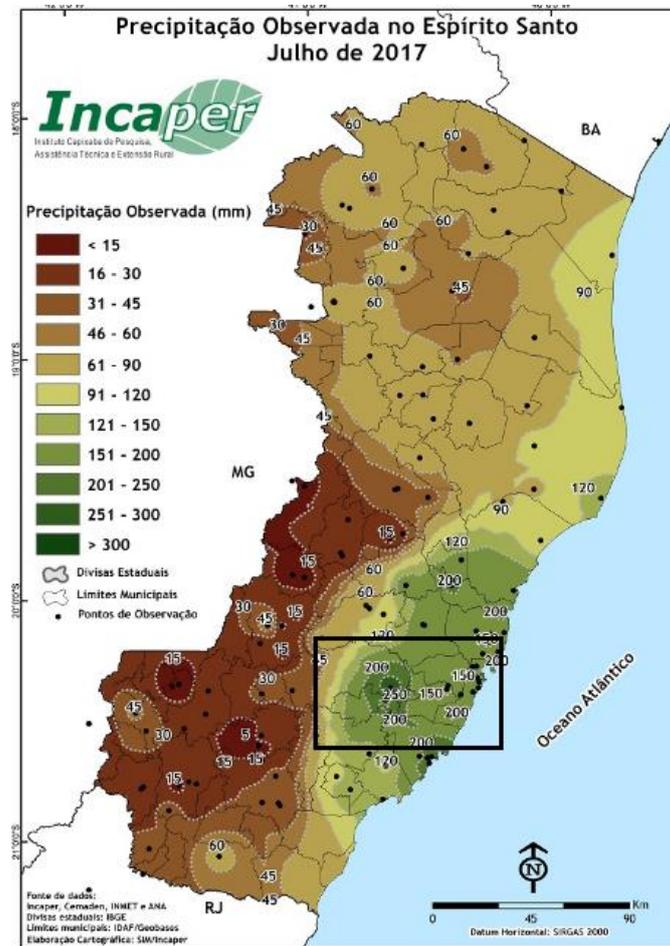


Figura A9. Precipitação observada no Espírito Santo no mês de julho de 2017. A região de coleta está demarcada pelo retângulo.

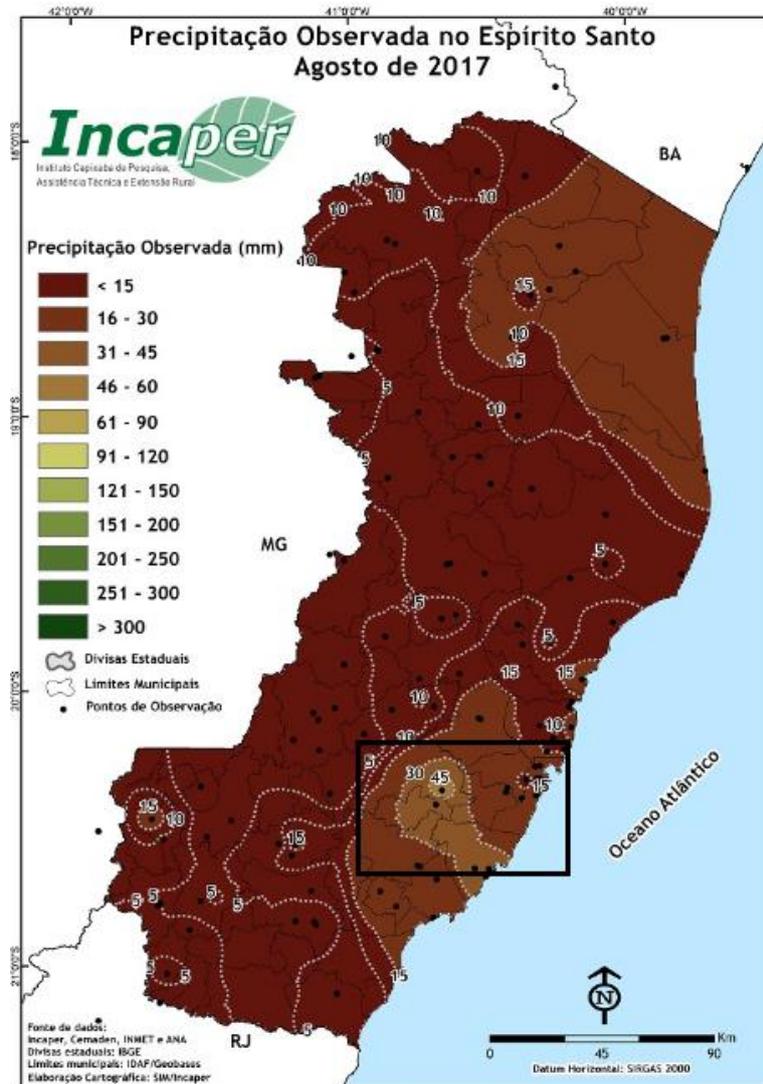


Figura A 10. Precipitação observada no Espírito Santo no mês de agosto de 2017. A região de coleta está demarcada pelo retângulo.

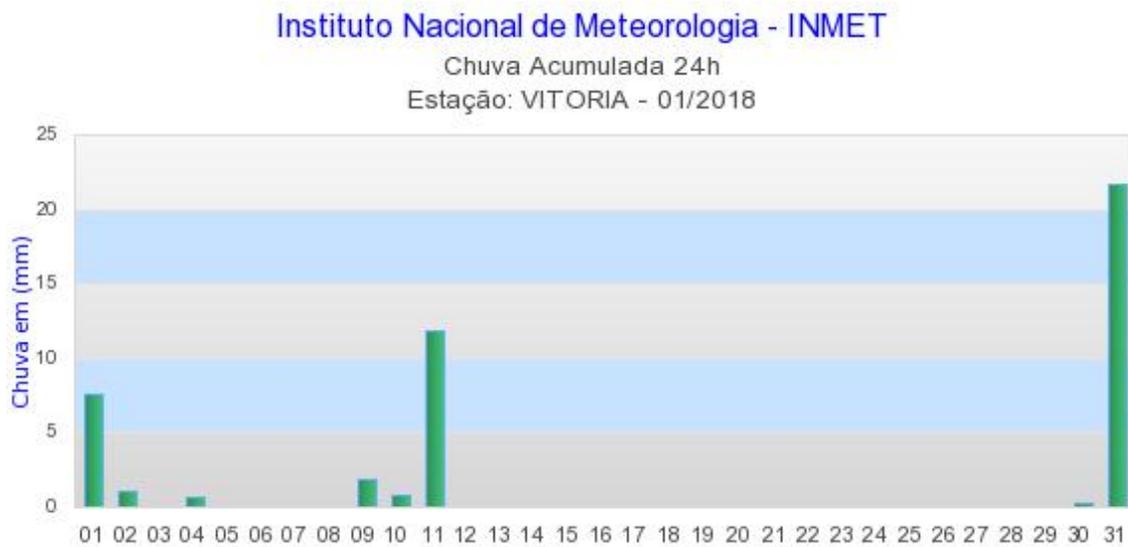


Figura A11. Chuva acumulada para o mês de Janeiro de 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Chuva Acumulada 24h
Estação: VITORIA - 02/2018

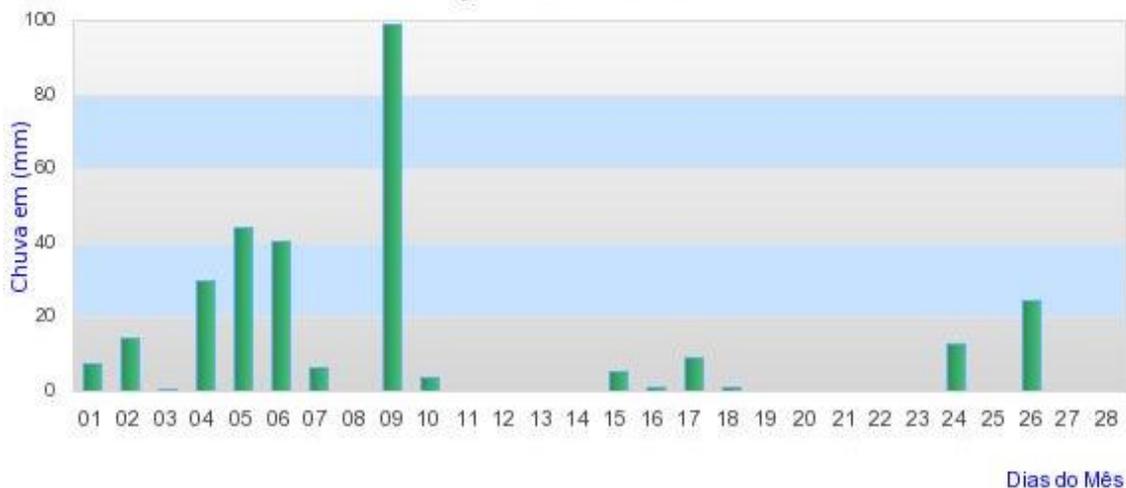


Figura A12. Chuva acumulada para o mês de Fevereiro de 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Chuva Acumulada 24h
Estação: VITORIA - 03/2018

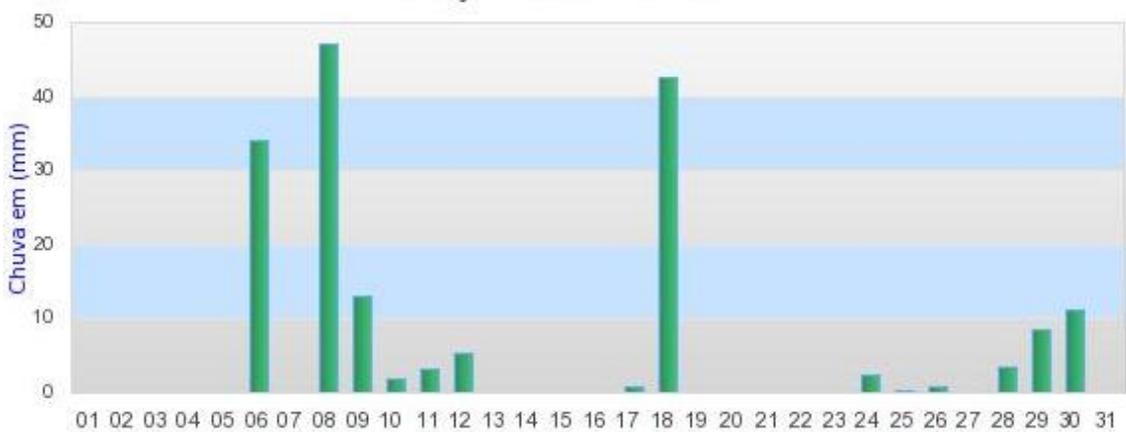


Figura A13. Chuva acumulada para o mês de Março de 2018.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90)

VITORIA (ES) - Para o Ano: 2018 até 15/8/2018

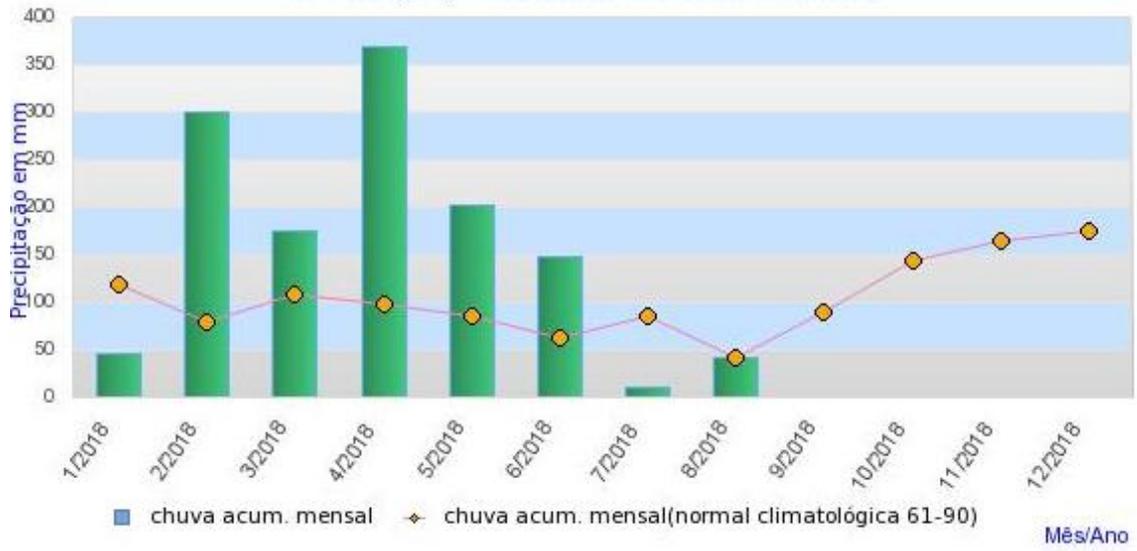


Figura A14. Chuva acumulada para o ano de 2018.

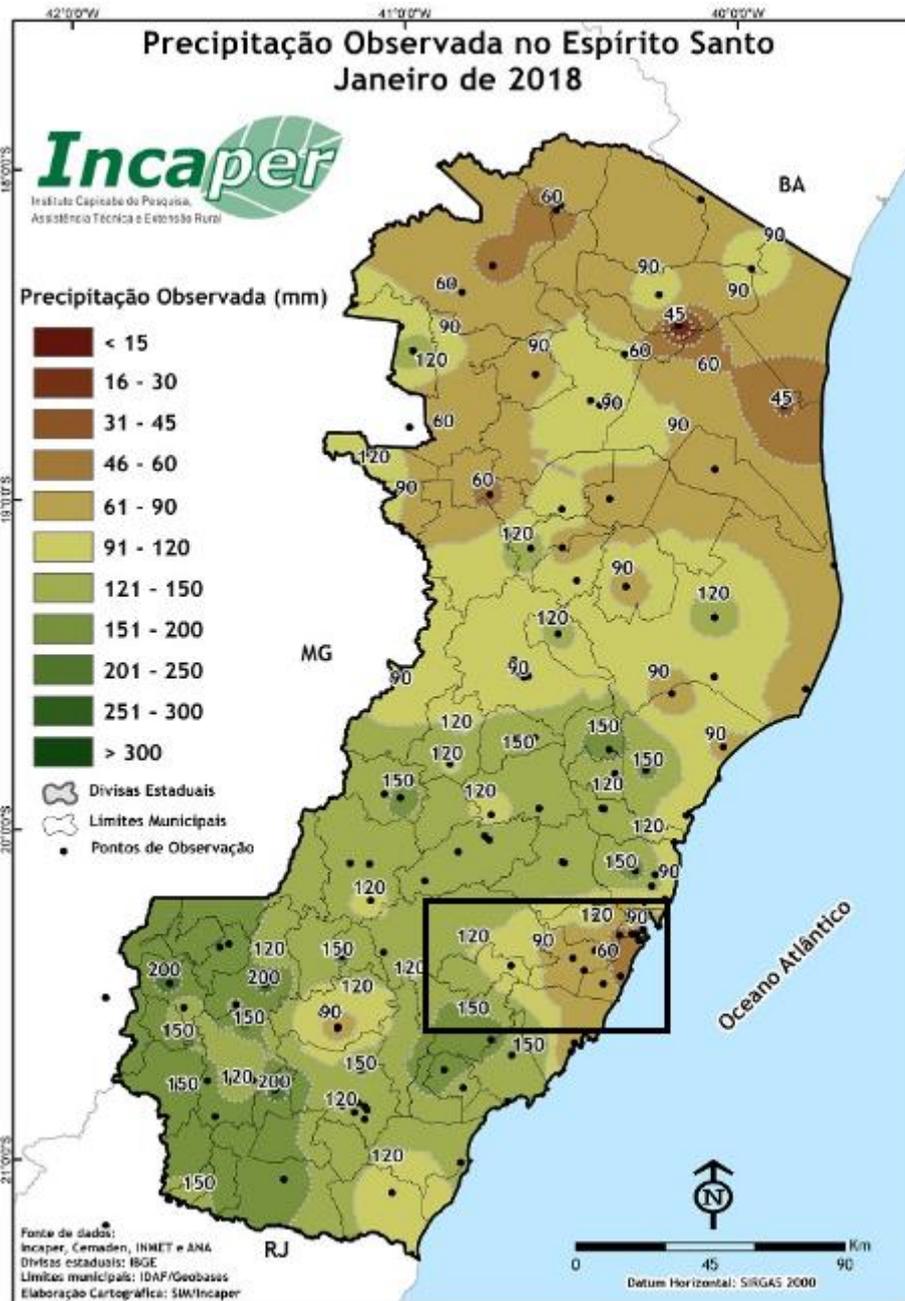


Figura A 14. Precipitação observada no Espírito Santo no mês de janeiro de 2018. A região de coleta está demarcada pelo retângulo.

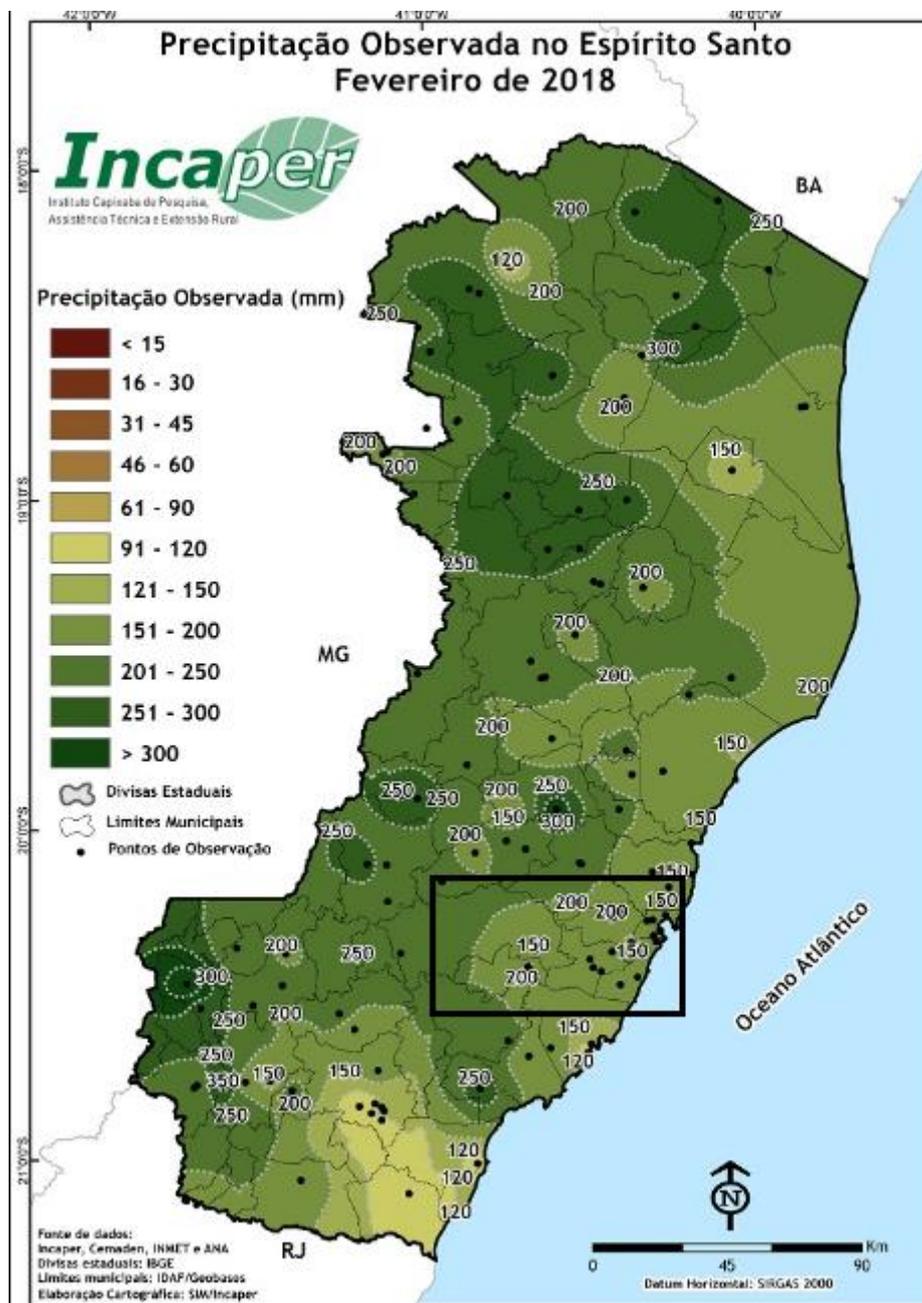


Figura A15. Precipitação observada no Espírito Santo no mês de fevereiro de 2018. A região de coleta está demarcada pelo retângulo.

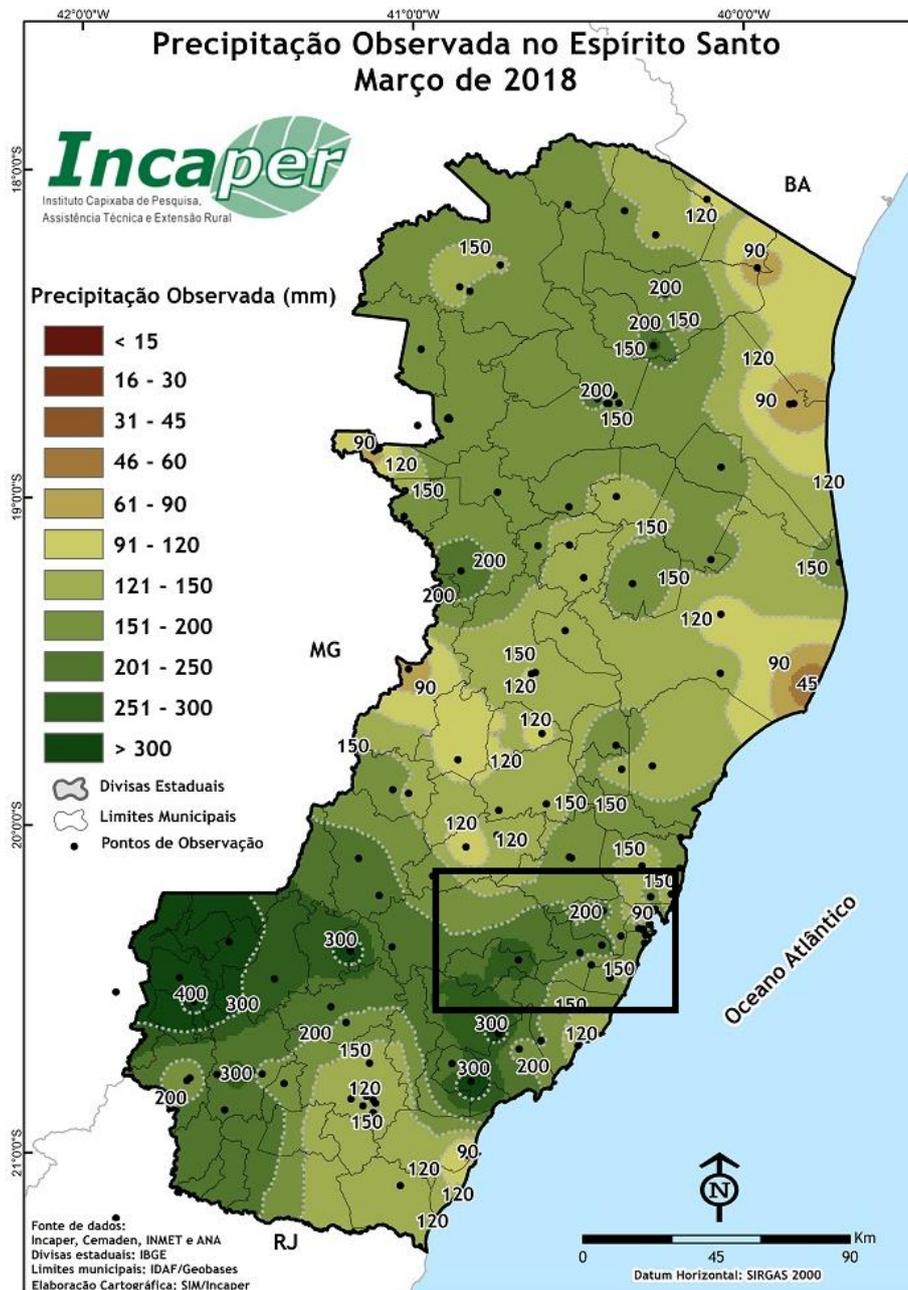


Figura A16. Precipitação observada no Espírito Santo no mês de Março de 2018. A região de coleta está demarcada pelo retângulo.

Tabela A5. Solubilidade do oxigênio (em mg.L⁻¹) em função da temperatura e da salinidade da água.

Temperatura °C	Solubilidade de O ₂ (mg.L ⁻¹) em salinidade 0 ng.L ⁻¹
0	14,60
2	13,81
4	13,09
6	12,44
8	11,83
10	11,28
12	10,77
14	10,29
16	9,86
18	9,45
20	9,08
22	8,73
24	8,40
26	8,09
28	7,81
30	7,54
32	7,29
34	7,05
36	6,82
38	6,61
40	6,41

Tabela A6. Resultados dos elementos traço das amostras de água em mg.L⁻¹ da 1ª e 2ª campanha e seus respectivos RSD.

	1ª Campanha						2ª Campanha						LD	LQ	CONAMA 357/05
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06			
Al (mg.L⁻¹)	0,3092	0,2738	0,3061	0,3201	0,4245	0,3909	1,6335	1,2566	1,2324	1,1163	1,1028	1,1527	0,0010	0,0100	0,1000(D)
RSD (%)	0,4397	2,2640	1,1093	0,5144	1,4950	0,9730	0,7137	0,6578	0,4263	0,9320	0,3543	0,8084			
Ca (mg.L⁻¹)	25,8620	26,0890	26,3950	25,2820	29,3000	33,0180	10,2794	13,9183	11,4137	10,4843	11,9050	12,8180	0,0227	0,1000	-
RSD (%)	1,3809	0,4206	0,3835	0,7130	0,0432	0,7480	0,3095	0,2932	0,3518	0,7295	0,5267	0,2905			
Fe (mg.L⁻¹)	1,4749	0,4673	0,6268	0,6051	0,8006	0,9116	1,7243	1,4523	1,4732	1,7307	1,5505	1,6132	0,0024	0,0100	0,3000(D)
RSD (%)	0,6828	0,3652	0,9936	0,7694	0,7518	0,3991	0,3120	0,6293	0,4569	0,5042	0,4531	0,9789			
Mg (mg.L⁻¹)	10,6803	10,4263	10,5667	10,0630	10,8960	12,4390	4,3424	5,7179	4,5811	4,2094	0,1180	0,1230	0,0700	0,1000	-
RSD (%)	0,4956	0,9691	0,1746	0,4438	0,5907	0,6567	2,1172	1,5131	4,6634	3,7271	0,0179	0,0259			
Mn (mg.L⁻¹)	0,2474	0,1605	0,1821	0,1695	0,2294	0,2282	0,1257	0,1202	0,1181	0,1180	0,1230	0,1313	0,0025	0,0100	0,1000(T)
RSD (%)	0,7734	0,5458	0,3315	0,0714	0,7556	0,4055	0,0289	0,0439	0,0203	0,0179	0,0259	0,0761			
Zn (mg.L⁻¹)	0,0394	0,0369	0,0612	0,0598	0,0547	0,0746	0,0201	0,0206	0,0194	0,0572	0,0188	0,0185	0,0004	0,0100	0,1800(T)
RSD (%)	1,5729	0,5169	0,9076	0,2824	0,2862	0,1450	0,0031	0,0169	0,0080	0,0154	0,0099	0,0088			
Cr (mg.L⁻¹)	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,0006	0,01	0,05(T)
RSD (%)	12,888	23,709	8,209	10,863	5,924	15,013	0,009	0,007	0,009	0,014	0,011	0,010			

*LQ= Limite de quantificação

LD= Limite de detecção

RSD = Desvio padrão relativo

(T) = Totais

(D) = Dissolvidos

Tabela A7. Resultados dos elementos traço das amostras de água em $\mu\text{g.L}^{-1}$ da 1ª e 2ª campanha e seus respectivos RSD.

	1ª Campanha						2ª Campanha						LD	LQ	CONAMA 357/05
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06			
Cd ($\mu\text{g/L}$)	0,091	0,313	0,172	0,235	0,252	0,165	0,114	0,114	0,071	0,061	0,030	0,046	$1,92 \times 10^{-5}$	$6,39 \times 10^{-5}$	1(T)
RSD (%)	9,400	2,000	5,700	1,900	3,400	2,000	4,500	0,700	1,800	2,900	8,200	3,900			
Co ($\mu\text{g/L}$)	1,410	1,961	1,051	1,758	1,144	1,040	0,620	0,139	0,267	0,245	0,215	0,469	$9,40 \times 10^{-5}$	$3,14 \times 10^{-4}$	50(T)
RSD (%)	1,400	0,900	0,400	1,900	1,300	0,400	1,400	1,700	0,200	2,600	1,000	0,000			
Cu ($\mu\text{g/L}$)	1,709	2,082	2,069	2,086	2,446	2,222	58,115	42,388	51,217	49,542	59,159	78,913	$1,94 \times 10^{-4}$	$6,48 \times 10^{-4}$	9,00(D)
RSD (%)	0,700	1,700	2,000	2,500	0,500	0,500	1,100	1,400	0,900	2,800	1,000	0,500			
Pb ($\mu\text{g/L}$)	0,464	0,669	0,416	0,448	1,085	0,566	3,176	3,239	3,549	2,851	3,598	3,640	$4,40 \times 10^{-5}$	$1,47 \times 10^{-4}$	10(T)
RSD (%)	0,400	1,500	0,700	0,400	1,300	0,900	1,600	0,700	0,700	2,200	1,200	1,000			
Ni ($\mu\text{g/L}$)	1,829	2,281	2,002	2,199	2,152	2,115	1,337	0,543	0,721	0,642	0,520	0,725	$8,80 \times 10^{-5}$	$2,93 \times 10^{-4}$	25(T)
RSD (%)	0,700	1,200	0,400	1,900	1,600	0,800	2,200	2,800	2,000	2,000	0,500	1,200			

*LQ= Limite de quantificação

LD= Limite de detecção

RSD = Desvio padrão relativo

(T) = Totais

(D) = Dissolvidos

Tabela A8. Resultados dos elementos traço das amostras sedimento em mg.Kg⁻¹ da 1ª e 2ª campanha e seus respectivos RSD.

	1ª Campanha						2ª Campanha						LD	LQ	CONAMA 420/09
	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06	JUC01	JUC02	JUC03	JUC04	JUC05	JUC06			
Al (mg.Kg⁻¹)	22532,33	12549	29315	9637,1	21746	24183	22195	8262,1	22484	14950	23060	30439	0,001	0,5	-
RSD (%)	8,06	8,7	6,71	10,21	13,07	3,74	2,26	4,27	11,68	4,76	13,91	7,27			
Ca(mg.Kg-1)	1632,37	3748,33	3454,2	914,86	1266,16	5280,17	1312,4	905,97	1996,63	952,38	2133,79	4413,73	0,0227	5	-
RSD (%)	6,28	16,52	6,44	10,11	11,98	2,8	10,82	1,82	9,64	3,24	8,43	6,72			
Fe(mg.Kg-1)	29865	33301,5	50513,5	25812,5	38649,5	40513,5	38389	18118,5	35726,5	28240,5	34573,5	44821	0,0024	0,5	-
RSD (%)	0,85	13,23	13,58	32,28	7,56	2,77	2599,3	68,68	9,69	23,54	11,2	8,06			
Mg(mg.Kg-1)	1972,1	3277,05	2045,15	805,47	1595,95	2366,35	626,49	1552,7	2401,65	1660,9	2012,75	2711,85	0,07	5	-
RSD (%)	40,44	57,81	57,25	56,86	57,3	57,17	57,2	56,6	57,64	56,92	57,42	5,12			
Mn(mg.Kg-1)	626,49	1376,45	872,14	592,49	330,47	351,8	401,62	101,37	244,23	186,15	351,8	500,65	0,0025	0,5	-
RSD (%)	55,7	57,17	56,39	56,06	53,48	55,95	56,95	60,01	74,39	50,17	54,18	55,08			
Ni(mg.Kg-1)	13,13	8,06	11,42	5,1	8,53	9,8	12,48	6,53	10,7	7,59	9,8	11,34	0,0012	0,5	30
RSD (%)	9,76	13,01	11,16	13,3	15,3	5,7	3,22	4,33	14,72	7,99	13,27	10,22			
Zn(mg.Kg-1)	74,29	34,9	73,01	24,81	48,29	80,15	56,25	23,55	54,06	32,26	66,5	90,12	0,0004	0,5	300
RSD (%)	9,74	12,78	10,03	15,07	15,63	5,8	2,78	2,61	13,7	9,05	13,73	10,42			
Cd(mg.Kg-1)	1,16	0,64	1,24	0,51	0,96	1,09	0,93	0,39	0,84	0,63	0,89	1,22	1,4x10 ⁻⁵	0,05	1,3
RSD (%)	9,33	15,37	12,93	23,14	15,39	5,14	8,38	11,64	24,85	7,53	19,98	9,89			
Co(mg.Kg-1)	14,07	8,8	10,92	5,4	8,91	8,79	10,77	5,09	9,21	6,76	9,29	9,8	0,0003	0,5	25
RSD (%)	9,88	13,1	9,44	14,76	15,6	5,97	3,58	3,79	13,7	8,38	14,53	10,84			
Cr(mg.Kg-1)	59,8	84,74	70,61	35,53	50,27	58,12	60,93	57,78	58,22	54,09	54,69	64,35	0,0006	0,5	75
RSD (%)	10,06	13	10,46	15,1	16,09	5,78	2,67	2,88	13,71	8,99	14,21	10,51			
Cu(mg.Kg-1)	13,83	9,36	17,55	4,75	11,64	15,02	13,7	7,09	11,36	7,44	17,21	20,13	0,0002	0,05	60
RSD (%)	16,05	4,97	9,43	20,46	20,51	1,77	5,56	8,54	0,1	3,76	3,37	4,75			
Pb(mg.Kg-1)	17,55	17,96	18,84	8,11	14,02	17,41	15,44	5,74	15,17	10,99	17,88	22,44	0,002	0,5	72
RSD (%)	9,75	14,32	10,49	14,85	16,82	5,01	3,68	3,72	16,12	7,69	13,44	9,23			

*LQ= Limite de quantificação

LD= Limite de detecção

RSD = Desvio padrão relativo