



LUÍS FELIPE DA SILVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE HÍDRICA E PROSPECÇÃO DE
LINHAGENS BACTERIANAS REDUTORAS DE CROMO
HEXAVALENTE PROVENIENTES DO SEDIMENTO DO ARROIO
ESTÂNCIA VELHA/RS**

CANOAS, 2018

LUÍS FELIPE DA SILVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE HÍDRICA E PROSPECÇÃO DE
LINHAGENS BACTERIANAS REDUTORAS DE CROMO
HEXAVALENTE PROVENIENTES DO SEDIMENTO DO ARROIO
ESTÂNCIA VELHA/RS**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentada para a banca examinadora do Curso de Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle, como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Anelise Beneduzi da Silveira.

Co-Orientador: Prof. Dr. Sílvio Taffarel.

CANOAS, 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, por me colocar nesse mundo e me possibilitar estudar e me desenvolver.

Agradeço a todos que participaram da minha jornada para chegar até esse momento, especialmente aos professores.

Agradeço a todos docentes e colaboradores do Programa de Pós Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais.

Agradeço a todos que contribuíram para construção e elaboração desse trabalho, em especial a professora Anelise, que foi crucial na orientação do mesmo.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), em que o presente trabalho foi realizado com apoio de Financiamento Código de 001.

RESUMO

A ação antrópica tem causado grandes impactos ao meio ambiente, especialmente aos recursos hídricos que recebem vários tipos de poluentes diariamente, principalmente efluentes cloacais e industriais. Num cenário destes, agravado por contaminantes do setor coureiro-calçadista, está situado o Arroio Estância Velha, pertencente à bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, localizado na região metropolitana de Porto Alegre/RS. O cromo residual, especialmente na forma oxidada Cr (VI), é um dos contaminantes mais prejudiciais ao meio ambiente gerados pelo setor coureiro-calçadista, devido a sua alta toxicidade. O capítulo I do presente trabalho objetivou prospectar bactérias redutoras de Cr (VI) do sedimento do Arroio Estância Velha e avaliá-las quanto ao seu potencial de biorredução em diferentes concentrações de Cr (VI): 2, 250 e 500 mg.L⁻¹, além de identificar o gênero e/ou espécie dos isolados bacterianos mais promissores. Dentre os quatorze isolados bacterianos mais eficientes foram identificadas as seguintes espécies e gêneros: *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter ursingii*, *Acinetobacter* sp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus methylotrophicus*, *Exiguobacterium* sp., *Microbacterium* sp. e *Ochrobactrum* sp. Todas as linhagens bacterianas isoladas tiveram a capacidade de reduzir o Cr (VI) para o Cr (III) em todas as concentrações testadas, sendo que os isolados do gênero *Acinetobacter* obtiveram percentuais de biorredução maiores entre 55,2 e 62,5% para a concentração de 250 mg Cr (VI).L⁻¹ em 48 horas de incubação. A espécie *Acinetobacter ursingii*, isolado P2.8 e P2.9, foi a que apresentou o melhor potencial de biorredução na maior concentração de 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), atingindo 21,3% e 24,5%, respectivamente, em 48 horas. A utilização de microrganismos eficientes para biorredução de poluentes de elevada toxicidade ambiental, como o Cr (VI), é uma metodologia prática e de baixo custo para aplicação em áreas contaminadas. No capítulo II foram avaliados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água coletada em três pontos do Arroio Estância Velha e acessado o histórico de análises dos dez últimos anos realizados pela Prefeitura de Estância Velha. Alguns parâmetros tais como, o teor de ferro, de manganês total, de prata total e o alto índice de coliformes termotolerantes encontrados não atenderam os requisitos de classificação de águas de Classe 1 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, águas destinadas ao abastecimento

para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) calculado nos três pontos amostrados classificou as águas do arroio como ruim, sendo que apenas a nascente (ponto 1) ficou classificada como aceitável. Os parâmetros que mais contribuíram negativamente no IQA foram o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e, principalmente, os coliformes termotolerantes. Assim, torna-se necessário o planejamento e aplicação de ações para minimizar os impactos ambientais apontados e assim recuperar a qualidade da água do arroio, especialmente quanto a coleta e o tratamento de esgoto sanitário, já que esse se mostrou como a principal fonte de poluição desse corpo hídrico, nesse estudo.

Palavras chaves: Qualidade ambiental. Água. Biorredução. Cr (VI). Parâmetros físico-químicos. Índice de Qualidade das Águas (IQA). Coliformes.

ABSTRACT

Anthropogenic action has caused great impacts on the environment, especially to the water resources that receive various types of pollutants daily, mainly sewage and industrial effluents. In a scenario of these, aggravated by contaminants of the leather industries, is located the Estância Velha stream, belonging to the watershed of the Sinos River, in the metropolitan region of Porto Alegre / RS. Residual chromium, especially in the oxidized form Cr (VI), is one of the most harmful contaminants to the environment generated by the leather-footwear sector, due to its high toxicity. The objective of this study was to investigate Cr (VI) reducing bacteria in the Estancia Velha stream sediment and to evaluate them for their bioreduction potential in different concentrations of Cr (VI): 2, 250 and 500 mg.L⁻¹, in addition to identifying the genus and / or species of the most promising bacterial isolates. Among the fourteen most efficient bacterial isolates, the following species and genus were identified: *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter ursingii*, *Acinetobacter sp.*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus methylotrophicus*, *Exiguobacterium sp.*, *Microbacterium sp.* and *Ochrobactrum sp.* All isolated bacterial strains could reduce Cr (VI) to Cr (III) in all concentrations tested, and the isolates of the genus *Acinetobacter* obtained greater percentages of bioreduction between 55.2 and 62,5% for the concentration of 250 mg Cr (VI).L⁻¹ in 48 hours of incubation. The *Acinetobacter ursingii* species (isolated P2.8 and P2.9) showed the highest potential of bioreduction in the highest concentration of 500 mg.L⁻¹ of Cr (VI), reaching 21.3% and 24.5%, respectively, in 48 hours. The use of efficient microorganisms for the bioreduction of pollutants of high environmental toxicity, such as Cr (VI), is a practical and low-cost methodology for application in contaminated areas. In chapter II, the physical-chemical and microbiological parameters of the water collected at three points of the Estância Velha stream were evaluated and the historical analysis of the last ten years carried out by the Estância Velha City Hall was used. Some parameters, such as iron content, total manganese, total silver and the high thermotolerant coliform content found did not meet the Class 1 water classification requirements according to CONAMA Resolution 357/2005, human consumption after simplified treatment, protection of aquatic communities and irrigation of raw vegetables. The Water Quality Index (IQA) calculated at the three points sampled ranked the waters of the stream as bad, and

only the source (point 1) was classified as acceptable. The parameters that contributed most negatively to the IQA were dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and, mainly, thermotolerant coliforms. Thus, it is necessary to plan and implement actions to minimize the environmental impacts pointed out and thus to recover the water quality of the stream, especially regarding the collection and treatment of sanitary sewage, since this proved to be the main source of pollution of this water spring, in this study.

Key words: Environmental quality. Water. Bioreduction. Cr (VI). Physical-chemical parameters. Water Quality Index (IQA). Coliforms.

LISTA DE ABREVIATURAS

% - percentagem
°C - grau Celsius
µm - micrometro
µg - micrograma
µL - microlitro
µg.mL⁻¹ - micrograma por mililitro
µM - micromolar
Abs - absorbância
Cr - Cromo
Cr (III) - Cromo trivalente
Cr (VI) - Cromo hexavalente
DNA - Ácido desoxirribonucleico
EDTA- Ácido etilenodiamino tetra-acético
g- grama
g.L⁻¹- gramas por litro
K₂Cr₂O₇- Dicromato de Potássio
M - molar
mM - milimol por litro
mg - miligrama
mg.L⁻¹ - miligrama por litro
mg.Kg⁻¹ - miligrama por quilograma
mg.mL⁻¹ - miligrama por mililitro
MgCl₂- Cloreto de Magnésio
mL - mililitro
NaCl- Cloreto de Sódio
nm - nanômetro
dNTP's- Desoxirribonucleotídeos Fosfatados
PCR - *Polymerase Chain Reaction*
pH - potencial Hidrogeniônico
rpm - rotações por minuto
rRNA - Ácido Ribonucléico Ribossomal
Taq – *Thermus aquaticus*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Qualidade da água	12
1.2	Metais pesados - Cromo	14
1.3	Biodegradação e Biorredução	15
1.4	Arroio Estância Velha	17
2	JUSTIFICATIVA	18
3	OBJETIVOS	19
4	CAPÍTULO I	
	Prospecção de linhagens bacterianas redutoras de cromo hexavalente provenientes do sedimento do arroio Estância Velha/RS	20
5	CAPÍTULO II	
	Qualidade ambiental das águas do arroio Estância Velha/RS	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	REFERENCIAS	77
	ANEXO A - Índice pluviométrico na Estação mais próxima do Arroio Estância Velha	81
	ANEXO B - Monitoramento Analítico do Arroio Estância Velha - Água..	82
	ANEXO C - Monitoramento Analítico do Arroio Estância Velha - Sedimento	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade da água

A água *in natura* ou bruta disponível na natureza, não é própria para o consumo devido à presença de substâncias tais como, sais minerais, materiais orgânicos e partículas em suspensão e/ou dissolvidas, que podem ser provenientes do próprio ambiente ou introduzidas a partir de atividades humanas. Sendo assim, para avaliar a qualidade da água leva-se em conta as suas características físicas, químicas e biológicas (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

De acordo com Braga et al. (2005), os indicadores físicos, compreendem a cor, a turbidez, o sabor, o odor, os sólidos, a condutividade elétrica e a temperatura. A cor é oriunda da existência de substâncias dissolvidas, geralmente, de natureza orgânica. A turbidez ocorre devido à presença de materiais em suspensão (partículas coloidais), que desviam os raios luminosos. Enquanto o sabor e odor estão ligados à existência de poluentes industriais ou de outras substâncias indesejadas, como material orgânico em decomposição, algas, poluentes domésticos, entre outros, o teor de sólidos decorre da presença de sólidos em suspensão ou dissolvidos. A condutividade está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água e a temperatura é entendida como a medida da intensidade de calor (BRAGA et al. 2005).

As características químicas se evidenciam por elementos ou compostos químicos presentes na água tais como, a salinidade, a dureza, a alcalinidade, o pH, a acidez, o ferro, o manganês e outros metais, as impurezas orgânicas, o nitrogênio, os cloretos, os compostos tóxicos, os fenóis, os detergentes, os agrotóxicos e a radioatividade (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; BRAGA et al, 2005). Dentre esses, cabe destacar que o pH, a dureza, a alcalinidade e a matéria orgânica são de grande relevância nos processos de tratamento. O pH é utilizado para indicar a acidez de uma solução, sendo que baixos valores podem causar corrosão e os altos valores, incrustações. A dureza é conferida à água pela presença de íons de cálcio (Ca^{+2}), de magnésio (Mg^{+2}) e mais raramente, de estrôncio (Sr^{+2}). A alcalinidade ocorre devido à presença de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) ou hidróxidos (OH^-) (NETTO; RICHTER, 1991).

Nos diferentes setores de atividade, tais como, no setor agropecuário, no abastecimento público, na produção industrial, na geração de energia, entre outros, o uso da água é indispensável. Somente a agricultura, necessita de 70% de toda a água doce utilizada pelo homem e a cada dia, uma maior quantidade de água potável é necessária para suprir a demanda das cidades. Ainda é preciso lidar com a seca, um fator natural que causa a escassez em algumas regiões, e com os danos ambientais causados pelo homem. A poluição por esgotos e por diferentes resíduos vem causando uma série de contaminações em diversos mananciais de várias localidades, principalmente após a Revolução Industrial do século XVIII (CORTEZ, 2004; RODRIGUES; PRADO, 2004).

Os efluentes da atividade industrial não deveriam alterar as características e nem causar danos aos corpos hídricos receptores, se as normas e legislações vigentes fossem atendidas. De acordo com Mitteregger-Junior et al (2006), o setor coureiro que inclui as indústrias químicas, os curtumes e os beneficiamentos de couros, é considerado como um dos dez ramos industriais que mais causam prejuízos ambientais. Isso ocorre em função dos vários resíduos gerados durante os processos de transformação das peles em couro. Corroborando a isso, Mwinyihija (2011) e Godecke et al. (2012) também destacam que o cromo residual, especialmente na forma oxidada hexavalente (Cr VI), devido a sua alta toxicidade é um dos contaminantes mais prejudiciais ao meio ambiente.

Frente a isso, diversos estudos estão sendo desenvolvidos ao longo dos anos, com o intuito de diminuir os impactos desses poluentes no meio ambiente. Uma alternativa é a biodegradação, sendo esta a utilização de diferentes microrganismos para degradar ou diminuir a presença de vários tipos de substâncias poluentes. No caso de contaminantes do tipo íons metálicos, um processo utilizado é o de biorredução, que consiste na utilização de métodos biológicos para reduzir o estado de oxidação de metal, tornando-o assim, mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente (PEREIRA; FREITAS, 2012; WANI; OGUNBIYI, 2015).

1.2 Metais pesados - Cromo

O cromo (Cr) é um metal pesado e se situa como o sétimo elemento mais abundante no planeta e o vigésimo primeiro na crosta terrestre (AVUDAINAYAGAM et al., 2003; MANDAL et al.; 2011). O Cr ocorre naturalmente como cromita (FeCr_2O_4) em rochas ultramáficas e serpentinas ou complexadas com outros metais como crocoite (PbCrO_4), bentorite $\text{Ca}_6(\text{Cr,Al})_2(\text{SO}_4)_3$ tarapacaite (K_2CrO_4), vauquelinite ($\text{CuPb}_2\text{CrO}_4\text{PO}_4\text{OH}$), entre outros (BABULA et al., 2008). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004), o teor total natural de Cr nas águas superficiais é de aproximadamente $0,5$ a $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ e o teor de Cr dissolvido é de $0,02$ – $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$. Nos oceanos, a concentração natural de Cr é de $0,04$ – $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$. Com relação a água potável, o valor limite de Cr total é de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ (WHO, 2011), enquanto que nos solos seu teor se situa em torno de 100mg.kg^{-1} (MANDAL et al., 2011).

O Cr pode existir em diferentes estados de oxidação, sendo os mais comuns o Cr (0), o Cr (II) (bivalente), o Cr (III) (trivalente) e o Cr (VI) (hexavalente). Sob a ótica biológica-ambiental, o Cr (VI) apresenta o maior grau de toxicidade entre as variadas formas do Cr (OLIVEIRA, 2012; BECQUER et al., 2003; VENKATRAMREDDY, 2009). O Cr (0) é a forma metálica produzida na indústria, sendo um sólido com alto ponto de fusão, geralmente usado para a fabricação de aço e outras ligas. As variações do metal são aplicadas em diversos processos industriais, como na fabricação de pigmentos, tinturas, catalisadores, tijolos refratários, porcelanatos, fibrocêramicos, setor galvanoplástico e na indústria coureiro-calçadista (OLIVEIRA, 2012; HAWLEY et al., 2004). Dentre todas estas aplicações, os curtumes são considerados como responsáveis pela maior parte das contaminações ambientais associadas ao Cr (MITTEREGGER-JUNIOR et al., 2006; HU et al., 2010). Isso se deve ao fato que em curtumes, na etapa de curtimento, os sais de cromo ainda são muito utilizados para promover a transformação da pele em couro, através da ligação desse com a estrutura fibrosa da pele, ocasionando assim, os resíduos com esse poluente (GUPTA et al., 2014; MITTEREGGER-JUNIOR et al., 2006).

A contaminação ambiental com Cr pode ser devido a vazamentos ou derramamentos na superfície de corpos d'água, seguido da contaminação no ambiente circundante. Além disso, a facilidade de lixiviação do Cr até as águas subterrâneas, por causa da sua solubilidade e mobilidade, são as consequências inevitáveis do armazenamento inadequado ou da eliminação imprópria em solos

(TANG; YIN; LO, 2011). A preocupação da presença de Cr (VI) dá-se em função das propriedades cancerígenas, mutagênicas, teratogênicas e alergênicas comprovadas para organismos vivos, podendo provocar uma grande mortandade (HU et al., 2010; MWINYIHIJA, 2011; GODECKE et al., 2012). A forma hexavalente (Cr VI) é mais tóxica que a trivalente (Cr III), devido ao seu alto poder oxidativo, especialmente na forma do ânion cromato (CrO_4^{2-}). Dessa forma, o Cr (VI), devido à sua elevada solubilidade em água, pode penetrar rapidamente através das membranas celulares e interagir com proteínas intracelulares e ácidos nucleicos, ocasionando desequilíbrios nos sistemas biológicos (ACKERLEY et al., 2006; MITTEREGGER-JUNIOR et al., 2006; COOD et al., (2001)). De acordo com Cood et al. (2001), Conceição et al. (2007) e Mwinyihija (2011), a forma trivalente do cromo é a mais estável e apresenta uma reduzida toxicidade.

1.3 Biodegradação e Biorredução

Dentre as inúmeras maneiras de eliminar ou reduzir os contaminantes no meio ambiente, o processo de biodegradação é uma forma interessante do ponto de vista econômico quando comparado à outras formas de tratamento que utilizam processos físico-químicos, tais como o de floculação e eletrólise (PINTO et al., 2003). A biodegradação é um método biológico em que determinados microrganismos utilizam as substâncias contaminantes como fonte de carbono e energia, promovendo assim a degradação destes compostos orgânicos (PADILHA et al. 2017). Vários organismos podem ser utilizados na biodegradação, como bactérias, fungos ou plantas, e a eficiência de um ou outro depende, em muitos casos, da estrutura da molécula alvo e da presença de enzimas hábeis em degradar o produto, as quais apresentam especificidade para a maioria dos substratos (PEREIRA; FREITAS, 2012).

Os microrganismos, tanto os fungos quanto as bactérias, são eficientes no tratamento de áreas impactadas por rejeitos com elevado nível de contaminantes tóxicos, aproveitando da sua capacidade inerente de resistência aos metais, sendo necessário apenas estabelecer as condições nutricionais e ambientais favoráveis ao seu metabolismo (PEREIRA; FREITAS, 2012). Dentre as vantagens que tornam os microrganismos importantes na biodegradação podem ser citados: o crescimento acelerado, a tolerância a condições ambientais extremas e, em geral, o baixo custo de cultivo (SIMÕES; TAU-K-TORNISIELO, 2005). Conforme Rahatgaonkar e Mahore

(2008), no caso de íons metálicos, a biodegradação através de biorredução possibilita a sua redução do estado de oxidação potencialmente mais nocivo, tóxico e instável, para uma forma mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente. Nesse sentido a biorredução se caracteriza por ser um método onde os microrganismos tolerantes a determinado íon metálico promovem a redução do estado de oxidação desse para outro mais estável (JOUTEY et al., 2015; RAHATGAONKAR; MAHORE, 2008). A redução microbiana do Cr (VI) foi relatada pela primeira vez no final dos anos 1970, quando Romanenko e Koren'Kov (1977) observaram a capacidade de redução de Cr (VI) em condições anaeróbicas por espécies de *Pseudomonas dechromaticans*, isoladas de lodo de esgoto. Desde então, vários outros microrganismos foram isolados que possuem a capacidade de reduzir o Cr (VI) para Cr (III) (JOUTEY et al., 2015): *Acinetobacter* AB1 (ESSAHLE et al., 2012), *Acinetobacter* sp. (NARAYANI; VIDYA SHETTY, 2012), *Bacillus amyloliquefaciens* (DAS et al., 2013), *Bacillus methylotrophicus* (SANDANA MALA et al., 2015), *Exiguobacterium* sp. (REHMAN; FAISAL, 2015), *Micrococcus luteus* e *Acetobacter acetii* (BIZANI; SPAGIARI, 2016), *Pseudomonas* spp. (WANY; OGUNBIYI, 2015) e *Bacillus sphaericus* AND 303 (PAL et al., 2013).

A desintoxicação microbiana do Cr pode ocorrer direta ou indiretamente e é afetada pelo pH, pela concentração do íon, pelo período de incubação e pelos tipos de microrganismos envolvidos (WANI et al.; 2015). De acordo com Joutey et al. (2015), a maioria das espécies microbianas é sensível ao Cr (VI), mas algumas são resistentes e podem tolerar altos níveis de cromato. Em bactérias, a resistência ao Cr (VI) é na maior parte vinda de plasmídeos, mas os genes da enzima da Cr (VI) redutase são encontrados tanto nos plasmídeos quanto no cromossomo bacteriano (JOUTEY et al., 2015). A enzima redutora de cromo (cromo redutase) é de grande importância para os organismos que a produzem, pois promove a rápida redução do Cr (VI) a Cr (III), eliminando-o rapidamente para o meio externo, antes de interagir com as macromoléculas, como DNA e proteínas, o que poderia ocasionar danos à célula. Portanto a permanência dos íons Cr (VI) livres estariam apenas ligados à parede celular (BIZANI; SPAGIARI, 2016; CONCEIÇÃO et al., 2007; JOUTEY et al., 2015). Nas células procarióticas, a glutathione atua como principal redutor não-enzimático, porém, esta redução é muito pequena quando comparada à redução enzimática realizada por organismos resistentes (BIZANI, SPAGIARI, 2016; CONCEIÇÃO et al., 2007). Os mecanismos pelos quais esses microrganismos são

resistentes e podem reduzir o Cr (VI) são variáveis e dependentes da espécie. Estes incluem um efluxo ativo de compostos de Cr, a redução metabólica de Cr (VI) para Cr (III) e a precipitação intercelular ou extracelular (RAMIREZ-DIAZ et al., 2008; THACKER et al., 2006; JOUTEY et al., 2015). Do ponto de vista da engenharia, o uso de células que reduzem o Cr (VI) externamente (sequestro extracelular) é particularmente benéfico, porque permite que as células sejam facilmente separadas do meio biológico e depois reutilizadas em sistema de reator. Além disso, se Cr (VI) for reduzido internamente, o Cr (III) resultante tenderá a se acumular dentro da célula, tornando difícil recuperar o cromo reduzido ou regenerar as células (CHIRWA; MOLOKWANE, 2011).

1.4 Arroio Estância Velha

O município de Estância Velha está localizado na região metropolitana de Porto Alegre/RS, na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul e é limitado ao norte com os municípios de Ivoti e Lindolfo Collor, ao sul com Novo Hamburgo e São Leopoldo, a leste com Novo Hamburgo e a oeste com Portão (figura 1). Esta cidade ocupa um território de 52,1 km² da região metropolitana de Porto Alegre, com um grau de urbanização de 97%. Atualmente, sua economia baseia-se, essencialmente, no setor de serviços e indústria (curtumes e insumos químicos do setor calçadista) e minoritariamente na agricultura (ESTÂNCIA VELHA, 2014).

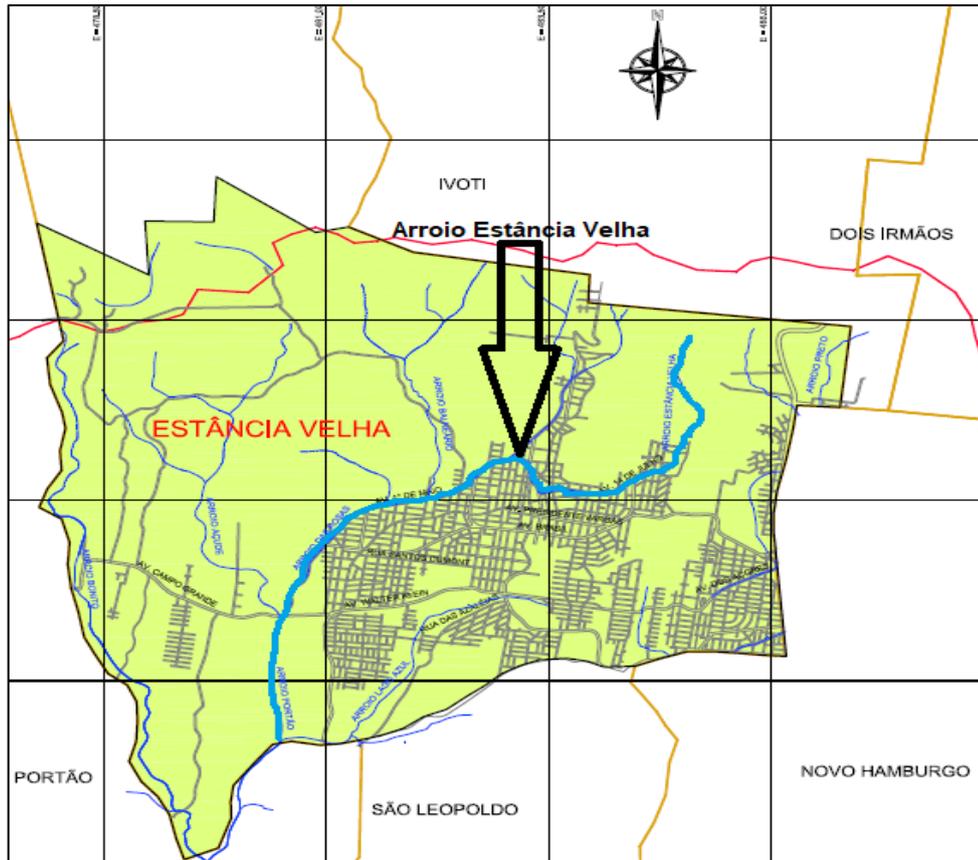


Figura 1 - Mapa do município de Estância Velha e a localização do arroio de mesmo nome. Fonte: adaptado de ESTÂNCIA VELHA, 2014.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSBEV (ESTÂNCIA VELHA, 2014), o Arroio Estância Velha está situado no trecho médio da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, sendo um dos formadores do arroio Portão que, tem sua foz no Rio dos Sinos. O arroio Estância Velha/Portão tem 20 km de extensão e no interior do município de Estância Velha, possui extensão aproximada de 8 km, atravessando a sede deste, onde o canal principal do arroio apresenta como uso preponderante a condução de águas pluviais, efluentes industriais, especialmente do setor coureiro e esgotos cloacais (ESTÂNCIA VELHA, 2014). Conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS (BRASIL, 2017), somente 2,84% do esgotamento sanitário do município é coletado e desse montante apenas 17,57% é tratado.

2 JUSTIFICATIVA

O Arroio Estância Velha é o principal corpo hídrico do município de mesmo nome que tem como principal atividade o setor coureiro-calçadista, e suas águas vão desaguar no Rio dos Sinos, a principal fonte de água utilizada no abastecimento de diversos municípios da região metropolitana. Os efluentes da atividade industrial, se as normas e legislações vigentes fossem atendidas, não deveriam causar danos e alterar as características dos corpos hídricos receptores. De acordo com Mitteregger-Junior et al. (2006), o setor coureiro (indústrias químicas, curtumes e beneficiamentos de couros) é considerado como um dos dez ramos industriais que mais causam prejuízos ambientais, devido à diversidade de resíduos gerados durante os processos de transformação das peles em couro. O cromo residual, especialmente na forma oxidada Cr (VI), devido a sua alta toxicidade é um dos contaminantes mais prejudiciais ao meio ambiente gerados destes processos industriais. Além disso, no Brasil, um dos principais agentes poluidores dos corpos hídricos são os esgotos sanitários. Isso se explica pela deficitária cobertura do tratamento de esgoto no país (RODRIGUES e PRADO, 2004; OLIVEIRA et al., 2012). Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2015), apesar do índice de tratamento ter aumentado em 11% entre 2005 e 2015, apenas 42,7% de todo o esgoto sanitário é tratado, sendo que em algumas regiões o índice ainda é menor que 10%. No município de Estância Velha, esse índice de tratamento é de cerca de 0,5%.

Assim, esse trabalho se apresenta dividido em dois capítulos. No Capítulo I, com a temática de biorredução de Cr (VI) através de microrganismos isolados do sedimento do Arroio Estância Velha, se procurou avaliar o potencial uso de microrganismos para biorredução de poluente de toxicidade ambiental elevada como o Cr (VI). Com relação ao estudo da qualidade ambiental da água do Capítulo II, foi verificado que a maioria dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados em três pontos das águas amostradas do Arroio Estância Velha. Portanto, pode-se afirmar que o diagnóstico da qualidade de um manancial é de grande relevância, especialmente na identificação de contaminantes que estejam impactando negativamente esse meio ambiente, como foi o caso de diversos parâmetros avaliados neste estudo.

3 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa prospectar bactérias redutoras de cromo hexavalente do sedimento do Arroio Estância Velha e avaliá-las quanto ao seu potencial de biorredução, além de identificar o gênero e/ou espécie dos isolados bacterianos mais promissores.

3.1 Objetivos específicos

- Realizar análises de cromo e físico-químicas em geral nas amostras de água e sedimento de três pontos do Arroio Estância Velha;
- Verificar a qualidade ambiental das águas do Arroio Estância Velha, segundo parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- Acessar o histórico disponibilizado pela Prefeitura de Estância Velha das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas na água nos últimos 10 anos nos mesmos pontos amostrados no Arroio Estância Velha;
- Prospectar isolados bacterianos redutores de Cr (VI) provenientes de três pontos de coleta do sedimento do Arroio Estância Velha;
- Testar os isolados bacterianos obtidos quanto ao seu potencial de biorredução de cromo hexavalente em diferentes concentrações;
- Identificar os isolados mais promissores em nível de gênero e/ou espécie através do sequenciamento do gene 16S rRNA;

Capítulo I

Prospecção de linhagens bacterianas redutoras de cromo hexavalente provenientes do sedimento do Arroio Estância Velha/RS

Luís Felipe da Silveira¹, Michelle Viscardi¹, Letícia Longoni², Jamila Sampaio², Sílvio Taffarel³, Anelise Beneduzi^{2,3*}

¹Universidade La Salle, Av. Vítor Barreto, 2288. CEP 92010-000, Canoas, RS, Brasil. luisfsilveira@yahoo.com.br; silvio.taffarel@unilasalle.edu.br

²Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (ex-FEPAGRO) da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação (SEAPI) do Rio Grande do Sul, Rua Gonçalves Dias, 570. CEP 90130-060, Porto Alegre, RS, Brasil. leticia-longoni@seapi.rs.gov.br jamila-sampaio@seapi.rs.gov.br

*Autor correspondente anelise.silveira@unilasalle.edu.br

RESUMO

A ação antrópica tem causado grandes impactos ao meio ambiente, especialmente aos recursos hídricos que recebem vários tipos de poluentes diariamente, principalmente efluentes cloacais e industriais. Num cenário destes, agravado por contaminantes do setor coureiro-calçadista está situado o Arroio Estância Velha, pertencente à bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, localizado na região metropolitana de Porto Alegre/RS. Entre os diversos métodos de tratamento para amenizar a ação de metais tóxicos como o cromo hexavalente (Cr VI), está a biorredução, que consiste na utilização de microrganismos para reduzir o metal a um estado de oxidação menor (Cr VI a Cr III), mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente. Devido a isso, o presente trabalho prospectou bactérias redutoras de cromo hexavalente em três pontos do Arroio Estância Velha e avaliou seu potencial de biorredução em diferentes concentrações de Cr (VI): 2, 250 e 500 mg.L⁻¹, identificando os isolados bacterianos mais promissores. Dentre as quatorze bactérias isoladas com potencial de promover

biorredução de Cr (VI), foram identificadas as seguintes espécies e gêneros: *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter ursingii*, *Acinetobacter* sp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus methylotrophicus*, *Exiguobacterium* sp., *Microbacterium* sp. e *Ochrobactrum* sp. Todos os isolados foram capazes de reduzir o Cr (VI), sendo que os isolados P2.1, P2.4, P2.5, P2.7, P2.8, P2.9, P3.25, P3.26 do gênero *Acinetobacter* obtiveram percentuais de biorredução entre 55,2 e 62,5% para a concentração inicial de 250 mg Cr VI.L⁻¹ e 48 horas de incubação. A espécie *Acinetobacter ursingii* isolado P2.9 foi a que apresentou um maior potencial de biorredução, especialmente no meio com 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), atingindo 24,5%. Assim, conclui-se que todas essas linhagens têm a capacidade de reduzir o Cr (VI) para o Cr (III) e podem ser úteis para o tratamento de efluentes e ambientes contaminados.

Palavras-chaves: microrganismos. biorredução. Cr (VI).

INTRODUÇÃO

A cada dia uma maior quantidade de água potável é necessária para suprir a demanda das cidades e a poluição por esgotos e diferentes resíduos vêm causando uma série de contaminações em mananciais de várias localidades (CORTEZ, 2004; RODRIGUES; PRADO, 2004). Os efluentes da atividade industrial não deveriam alterar as características e causar danos aos corpos hídricos receptores, se as normas e legislações vigentes fossem atendidas. De acordo com Mitteregger-Junior et al. (2006), o setor coureiro que inclui as indústrias químicas, os curtumes e os beneficiamentos de couros é considerado como um dos dez ramos industriais que mais causam prejuízos ambientais em função dos vários tipos de resíduos gerados durante os processos de transformação das peles em couro. Corroborando a isso, Mwinyihija (2011) e Godecke et al. (2012) também destacam que nesse ramo industrial, o cromo residual, especialmente na forma oxidada hexavalente (Cr VI), é um dos contaminantes mais prejudiciais ao meio ambiente, devido a sua alta toxicidade. A preocupação da presença de Cr (VI) se dá em função das propriedades cancerígenas, mutagênicas, teratogênicas e alergênicas comprovadas, podendo provocar uma grande mortandade de organismos (HU et al., 2010; MWINYIHIJA, 2011; GODECKE et al., 2012). A forma hexavalente (Cr VI) é cerca de mil vezes mais tóxica que a trivalente (Cr III), devido ao seu alto poder oxidativo, especialmente na forma do ânion cromato (CrO_4^{2-}). Dessa forma, o Cr (VI), devido à sua elevada solubilidade em água, pode penetrar rapidamente através das membranas celulares e interagir com proteínas e ácidos nucleicos, ocasionando desequilíbrios nos sistemas biológicos (ACKERLEY et al., 2006; MITTEREGGER-JUNIOR et al., 2006). De acordo com Cood et al. (2001), Conceição et al. (2007) e Mwinyihija (2011), a forma trivalente do cromo (Cr III) é a mais estável e apresenta uma toxicidade reduzida. Com o objetivo de buscar a diminuição dos impactos desses poluentes no meio ambiente, uma alternativa muito estudada é a biodegradação, sendo esta a utilização de microrganismos para degradar ou diminuir a presença de substâncias poluentes. No caso de contaminantes do tipo íons metálicos, um processo utilizado é o de biorredução, que consiste em reduzir o estado de oxidação do metal, tornando-o mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente (PEREIRA; FREITAS, 2012; WANI; OGUNBIYI, 2015).

Os microrganismos, tanto os fungos quanto as bactérias, são eficientes no tratamento de áreas impactadas por rejeitos com altos níveis de contaminantes tóxicos, aproveitando da sua capacidade inerente de resistência aos metais, sendo necessário apenas estabelecer as condições favoráveis ao seu metabolismo. Dentre as vantagens que tornam os microrganismos importantes na biodegradação podem ser citados: o crescimento acelerado, a tolerância a condições ambientais extremas e, em geral, o baixo custo de cultivo (SIMÕES; TAU-K-TORNISIELO, 2005). No caso de íons metálicos, a biorredução possibilita a redução do estado de oxidação potencialmente mais nocivo, tóxico e instável do metal, para uma forma mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente (RAHATGAONKAR; MAHORE, 2008). A redução microbiana do Cr (VI) foi relatada pela primeira vez no final dos anos 1970, quando Romanenko e Koren'Kov (1977) observaram a capacidade de redução de Cr (VI) em condições anaeróbicas por espécies de *Pseudomonas dechromaticans*, isoladas de lodo de esgoto. Desde então, vários outros microrganismos foram descobertos que possuem a capacidade de reduzir o Cr (VI) para Cr (III) (JOUTEY et al., 2015), principalmente bactérias anaeróbicas facultativas, tais como, *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Shewanella oneidensis* e linhagens de *Aeromonas* (Lloyd 2003).

Assim, considerando que o município de Estância Velha/RS é reconhecido como a capital nacional dos curtumes, com várias indústrias do setor instaladas, o presente trabalho visa prospectar bactérias redutoras de Cr (VI) do sedimento do Arroio Estância Velha e avaliá-las quanto ao seu potencial de biorredução, além de identificar o gênero e/ou espécie dos isolados bacterianos mais promissores. Adicionalmente foi acessado o histórico dos últimos dez anos das análises de cromo realizados no arroio pela prefeitura de Estância Velha, para justificar a presença de microrganismos biorredutores de Cr (VI).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta das amostras

As coletas das amostras de água e de sedimento foram realizadas em 9 de outubro de 2017 ao longo da extensão do Arroio Estância Velha/RS. Os pontos definidos foram a nascente sendo o ponto 1 (P.1 – 29° 38' 32,5" latitude sul e 51° 09'29,1" longitude oeste), localizada em uma região pouco urbanizada, com propriedades rurais e próxima a zona especial de mineração de basalto do município. Considerando as ocupações antrópicas e industriais, ficou estabelecido como ponto 2 (P.2 – 29° 38' 53,6" latitude sul e 51° 10' 20,0" longitude oeste) o local a montante da área de maior demografia, que corresponde ao seu núcleo urbano e o ponto 3 (P.3 – coordenadas 29° 39' 51,2" sul e 51° 12' 07,5" oeste) a jusante e próximo ao encontro com o Arroio Portão, localizando-se na zona industrial de Estância Velha (figura 1).

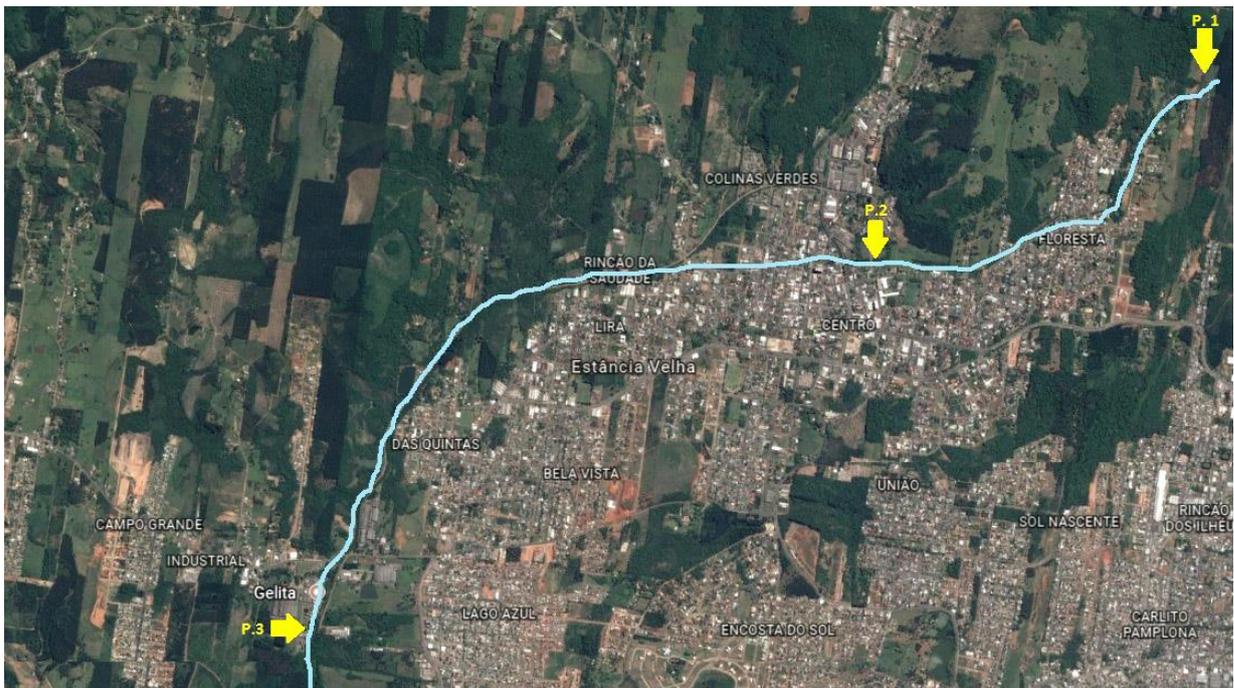


Figura 1- Pontos de amostragem de sedimento do Arroio Estância Velha/RS: P.1 nascente, P.2 a montante e P.3 a jusante da área de maior demografia.

Fonte: Google Earth, 2017.

As coletas das amostras de água e de sedimento (cerca de 200 gramas) para a análise, assim como para o isolamento das bactérias redutoras do metal, foram

realizadas com frascos plásticos de 2.000 mL (2L) e vidros âmbar 1.000 mL (1L) esterilizados a cerca de 20cm de profundidade. Após a coleta, os frascos foram lacrados, refrigerados a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ e mantidos protegidos da luz até o momento das análises.

2.2 Análises de Cromo

Para a realização das análises de presença de cromo total (Cr) e hexavalente (Cr VI) nas amostras de água e sedimento, as mesmas foram enviadas ao SGS Geosol Laboratórios, que utiliza espectroscopia de plasma indutivamente acoplado de emissão óptica (ICP-OES) para a determinação de Cr total (APHA, 2005). Enquanto que a determinação de Cr (VI) foi realizada por espectrofotometria, através do método colorimétrico da difenilcarbazida (APHA, 2005). As determinações de Cr realizadas pela prefeitura do município de Estância Velha também foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

2.3 Prospecção de isolados bacterianos biorredutores de Cr (VI)

A seleção de bactérias redutoras de Cr (VI) foi realizada de acordo com Conceição et al. (2007) com modificações. Amostras de 10g de sedimento foram adicionadas em 90 ml de solução salina (0,85%) e incubadas *overnight* em agitação. Após esse procedimento, foram feitas diluições seriadas até 10^{-3} e de cada diluição uma alíquota de 0,1 ml foi inoculada em placas com ágar nutritivo (3g/L de extrato de carne, 5g/L de peptona e 15g/L de ágar) contendo 500 mg.L^{-1} de Cr (VI) na forma de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, em triplicatas, realizando-se então o isolamento de colônias puras.

Os isolados bacterianos obtidos foram avaliados quanto à capacidade de crescimento em 30 mL de caldo nutritivo (3g/L de extrato de carne, 5g/L de peptona e 15g/L de ágar) contendo diferentes concentrações de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: 2, 250 e 500 mg.L^{-1} e incubadas por 24 e 48 horas, a 150rpm e a 30°C . O inóculo foi padronizado para uma absorbância de 0,3 em espectrofotômetro a 600nm. Após a incubação, foram determinadas a densidade óptica (DO) em espectrofotômetro a 600nm e a concentração final do Cr (VI) no caldo nutritivo, com o reagente de difenilcarbazida em espectrofotômetro a 540nm (APHA, 2005). O cálculo da biorredução foi realizado

considerando a diferença entre a concentração inicial e final de Cr (VI) no meio sob a inicial, expresso em percentual (CONCEIÇÃO et al., 2007).

2.4 Extração do DNA total e amplificação do fragmento do gene 16S rRNA

As extrações foram feitas com fenol/clorofórmio, seguida de precipitação com etanol como descrito por Sambrook; Russel (2001). Os isolados bacterianos foram lavados com tampão TES (Tris pH 8.0 10 mM, EDTA 25 mM, NaCl), e ressuspensos em tampão TE (Tris pH 8.0 10 mM, EDTA 25 mM). A lise celular foi realizada com lisozima 20 mg.mL⁻¹ a 37°C e sódio dodecil-sulfato 4%. A qualidade e integridade do DNA foram verificadas por eletroforese em gel de agarose 0,8%.

Um fragmento do gene 16S rRNA foi amplificado do DNA dos isolados bacterianos biorredutores em um termociclador *Veriti 96 ThermalCycler (Applied Biosystem)* em 25 µL de reação contendo 0,1 mM de cada *primer*, 1 mM MgCl₂ (*Invitrogen*), 10 mM de cada dNTP's (*Amersham Biosciences*) e 1U Taq DNA polimerase (*Invitrogen*). A sequência do gene 16S rRNA quase completa (1500 pb) foi amplificada utilizando os *primers* 5'AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG 3' (STACKEBRANDT; LIESACK, 1993) e 5'AGA AAG GAG GTG ATC CAG CC 3' (EDWARDS et al., 1989). As reações foram realizadas com um ciclo inicial de desnaturação a 94°C por 5 min, seguido por 30 ciclos de amplificação, sendo cada ciclo composto por: 1 fase de desnaturação com duração de 1 min a 94°C, 1 fase de anelamento de 1 min a 49°C e uma fase de extensão de 1 min a 72°C. A extensão final foi de um ciclo a 72°C por 5 min. Os produtos da PCR foram analisados em gel de agarose 1% corado com *Blue Green LoadingDye I (LGC biotecnologia)*. Os fragmentos obtidos foram sequenciados em uma orientação no laboratório ACTGene do Centro de Biotecnologia, UFRGS/RS, no sequenciador automático *ABI-PRISM 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems)*. As sequências obtidas foram comparadas com as disponíveis no banco de dados *GenBank* através do programa BLASTN (*National Center for Biotechnology Information*, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>). As sequências dos quatorze isolados bacterianos obtidos neste estudo foram depositadas no banco de dados com os números de acesso MK144407 a MK144420.

3 RESULTADOS

Na tabela 1 estão apresentados os resultados das análises de Cr total e Cr (VI) nas amostras de água e sedimento coletadas nos três pontos do Arroio Estância Velha. Como pode-se observar, em nenhuma das amostras analisadas de água e sedimento foi encontrado teor de Cr (VI) que ficasse acima do limite de detecção dos respectivos métodos. Com relação ao Cr total, verifica-se que apenas nas amostras de sedimento dos pontos 2 e 3 do Arroio Estância Velha apresentaram os teores de 12,1 e 10,8 mg.kg⁻¹.

Tabela 1 - Concentração de Cr total e Cr (VI) nas amostras de água e sedimento coletados em três pontos do Arroio Estância Velha/RS.

Amostra	Cr total (mg/L ou kg)	Cr (VI) (mg/L ou kg)
Ponto 1 - Água	<0,01	<0,01
Ponto 2 - Água	<0,01	<0,01
Ponto 3 - Água	<0,01	<0,01
Ponto 1 - Sedimento	<3	<0,4
Ponto 2 - Sedimento	12,1	<0,4
Ponto 3 - Sedimento	10,8	<0,4

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Pelo resultado das análises de Cr (VI) dos últimos dez anos realizadas nos mesmos pontos pela Prefeitura de Estância Velha, aproximadamente no mesmo período deste estudo, pode-se observar que no ano de 2013 a análise de água do ponto 3 apresentou um teor acima do limite de detecção do método, sendo encontrado 0,11 mg Cr (VI).L⁻¹ (figura 2). O mesmo ocorreu no ponto 2, em 2015, com teor de 0,01 mg Cr (VI).L⁻¹. Na nascente (ponto 1), não foi detectado Cr (VI) no período avaliado, segundo a figura 2.

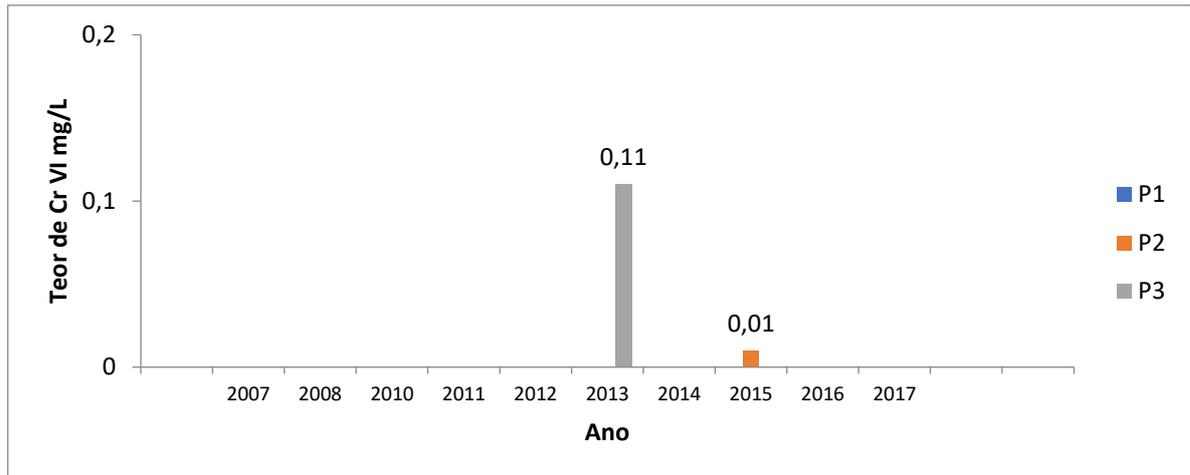


Figura 2 - Histórico do teor de Cr (VI) encontrado na água do Arroio Estância Velha nos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3), no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Com relação ao histórico das análises de Cr total realizado pela Prefeitura nas amostras de água (figura 3), verificou-se que o ponto 3 foi o que mais apresentou índices de Cr ao longo dos anos, sendo os maiores valores encontrados em 2012, 2013 e 2015 (0,20, 0,12 e 0,09 mg Cr (VI).L⁻¹, respectivamente). O ponto 2 teve o maior valor de Cr encontrado no ano de 2008 (0,1 mg Cr (VI).L⁻¹), com os demais não sendo maiores de 0,02 mg Cr (VI).L⁻¹, enquanto o ponto 1 foi o único que apresentou Cr somente em 2016 (0,02 mg Cr (VI).L⁻¹).

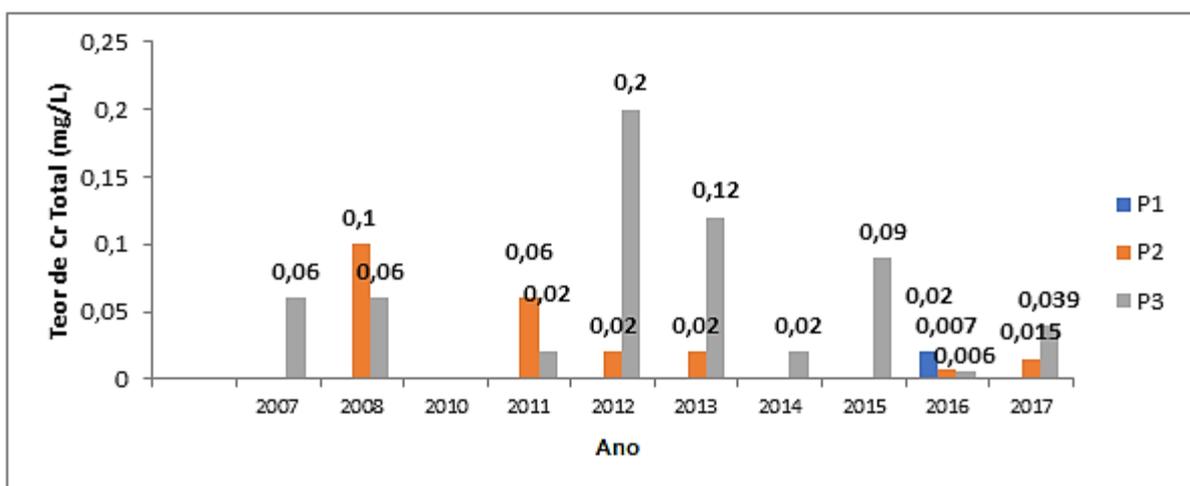


Figura 3 - Histórico do teor de Cr total encontrado na água do Arroio Estância Velha nos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3), no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Em relação ao teor de Cr (VI) (Figura 4) encontrado nas análises do sedimento do arroio Estância Velha verifica-se no ponto 3 foram detectados nos anos de 2007 (29,4 mg Cr (VI).kg⁻¹), 2009 (138 mg Cr (VI).kg⁻¹), 2011 (2,78 mg Cr (VI).kg⁻¹) e 2017 (0,42 mg Cr (VI).kg⁻¹), sendo o mais expressivo o resultado de 2009. No ponto 2 houve ocorrência de Cr (VI) em 2007 (1,28 mg Cr (VI).kg⁻¹), 2009 (8,06 mg Cr (VI).kg⁻¹) e 2011 (1,32 mg Cr (VI).kg⁻¹) e no ponto 1 em 2009 (6,67 mg Cr (VI).kg⁻¹) e 2011 (1,05 mg Cr (VI).kg⁻¹).

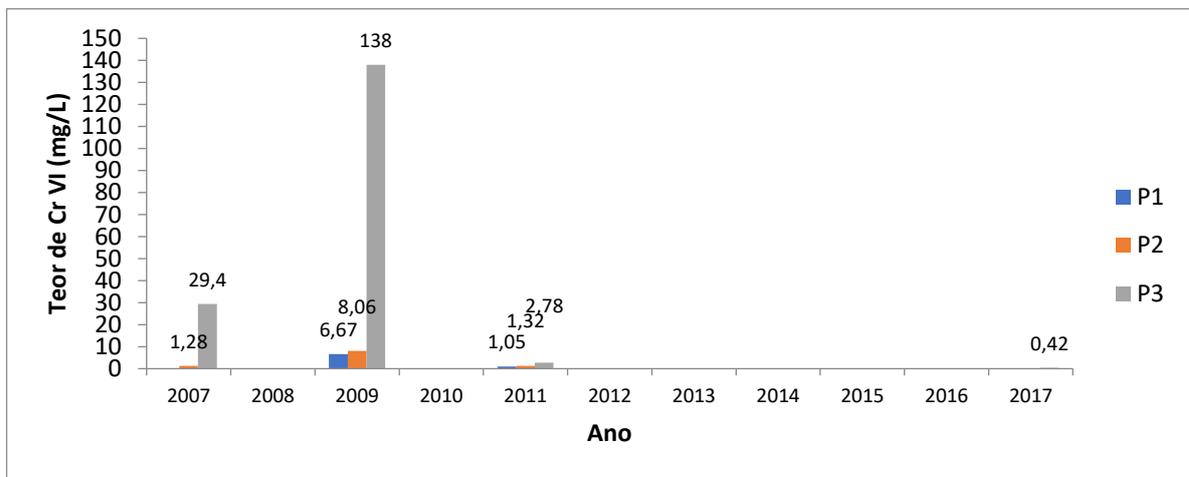


Figura 4 - Histórico do teor de Cr (VI) encontrado no sedimento do Arroio Estância Velha nos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3), no período de 2007 a 2017.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Considerando os resultados entre 2007 e 2017 para Cr total no sedimento (figura 5), pode ser verificado que os maiores valores foram encontrados em 2007 (2145 mg Cr.kg⁻¹) e 2009 (3594 mg Cr.kg⁻¹) para o ponto 3. Enquanto em 2010 e 2011 o ponto 2 apresentou os valores mais elevados (503 e 772 mg Cr.kg⁻¹, respectivamente). Com relação ao ponto 1 em 2014 foi encontrado o valor máximo de 314 mg Cr.kg⁻¹).

Os dados dos pontos 2 e 3 do município, quando comparados com os obtidos nas análises de Cr Total feitas nesse estudo (ponto 2 - 12,1 mg.kg⁻¹ e ponto 3 - 10,8 mg.kg⁻¹), para o sedimento do Arroio Estância Velha, em todo histórico das análises foram superiores.

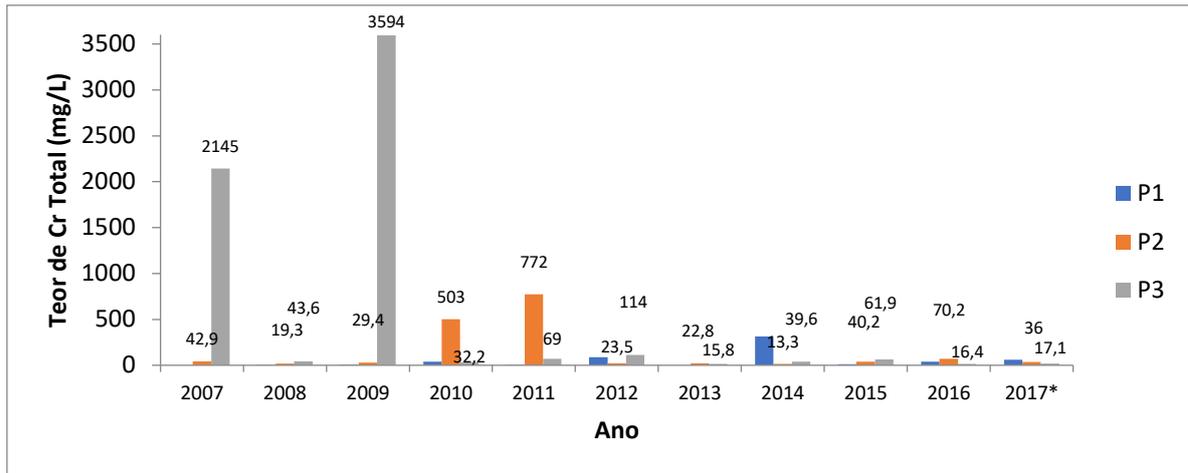


Figura 5 - Histórico do teor de Cr total encontrado no sedimento do Arroio Estância Velha nos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3), no período de 2007 a 2017.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Das três amostras de sedimento coletadas ao longo do arroio Estância Velha, foram isoladas cerca de oitenta e sete colônias bacterianas morfológicamente distintas. Destas foram selecionados quatorze isolados bacterianos que apresentaram o maior potencial de crescimento em meio acrescido de $K_2Cr_2O_7$ contendo 2 mg de Cr (VI). L^{-1} . O ponto 2 apresentou oito isolados bacterianos resistentes ao Cr (VI) P2.1, P2.4, P2.5, P2.7, P2.8, P2.9, P2.18 e P2.25, no ponto 3 foram selecionados quatro isolados P3.2, P3.22, P3.25 e P3.26 e no ponto 1, dois isolados P1.5 e P1.10, sendo estes descritos na tabela 2. Com relação à identificação dos isolados mais promissores na biorredução de Cr (VI), pode-se verificar que foram identificadas os seguintes gêneros e espécies: *Acinetobacter baumannii*, *Acinetobacter ursingii*, *Acinetobacter* sp., *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, *Bacillus methylotrophicus*, *Exiguobacterium* sp., *Microbacterium* sp. e *Ochrobactrum* sp. A espécie com mais isolados encontrados foi *Acinetobacter ursingii* (P2.1, P2.4, P2.7, P2.8 e P2.9), do ponto 2 do Arroio Estância Velha.

Tabela 2 - Identificação através do sequenciamento do 16S rDNA dos isolados bacterianos mais promissores na biorredução de Cr (VI) obtidos do Arroio Estância Velha.

Isolado	Identificação
P1.5	<i>Microbacterium</i> sp.
P1.10	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
P2.1	<i>Acinetobacter ursingii</i>
P2.4	<i>Acinetobacter ursingii</i>
P2.5	<i>Bacillus methylotrophicus</i>
P2.7	<i>Acinetobacter ursingii</i>
P2.8	<i>Acinetobacter ursingii</i>
P2.9	<i>Acinetobacter ursingii</i>
P2.18	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
P2.25	<i>Bacillus cereus</i>
P3.3	<i>Exiguobacterium</i> sp.
P3.22	<i>Ochrobactrum</i> sp.
P3.25	<i>Acinetobacter baumannii</i>
P3.26	<i>Acinetobacter</i> sp.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os isolados bacterianos foram primeiramente testados para biorredução de Cr (VI) na concentração inicial de 2 mg. L⁻¹ de Cr (VI) (a partir de K₂Cr₂O₇) nos períodos de incubação de 24 e 48 horas (tabela 3). Observa-se que todos os isolados apresentaram crescimento nas primeiras 24 horas de incubação e, ainda, todos reduziram entre 96,8 e 98,6% o Cr (VI) do meio contendo 2 mg.L⁻¹. Os quatro isolados bacterianos que apresentaram os maiores percentuais de biorredução foram, e identificados como sendo um isolado de *Microbacterium* sp. P1.5, dois isolados de *B. amyloliquefaciens* P1.10 e P2.18 e um isolado de *Acinetobacter* sp. P3.26, respectivamente. Após 48 horas de incubação, todos os isolados conseguiram reduzir mais o Cr (VI) do meio, ou seja, todos tiveram aumento do percentual biorreduzido desse íon (tabela 3 e figura 6). Destaca-se que os isolados P1.10 e P2.18 (*B. amyloliquefaciens*), P2.1, P2.4, P2.8 e P2.9 (*Acinetobacter ursingii*), P2.25 (*B. cereus*) e P3.3 (*Exiguobacterium* sp.) apresentaram 100% de redução do Cr (VI) após 48 horas de incubação.

Tabela 3 - Redução de Cr (VI) pelos isolados bacterianos após 24 e 48 horas de crescimento em meio contendo 2 mg.L⁻¹ de Cr (VI).

Isolado	Teor Cr (VI) após 24H (mg. L ⁻¹)	Redução após 24H (%)	Teor Cr (VI) após 48H (mg. L ⁻¹)	Redução após 48H (%)
P1.5	0,03	98,6	0,01	99,6
P1.10	0,04	98,2	0,00	100
P2.1	0,06	97,1	0,00	100
P2.4	0,05	97,5	0,00	100
P2.5	0,04	97,8	0,00	99,9
P2.7	0,04	98,0	0,00	99,9
P2.8	0,05	97,5	0,00	100
P2.9	0,04	97,8	0,00	100
P2.18	0,03	98,3	0,00	100
P2.25	0,06	96,8	0,00	100
P3.3	0,04	98,0	0,00	100
P3.22	0,05	97,5	0,00	99,8
P3.25	0,07	96,7	0,00	99,8
P3.26	0,04	98,1	0,02	98,9

Fonte: Autoria Própria, 2018.

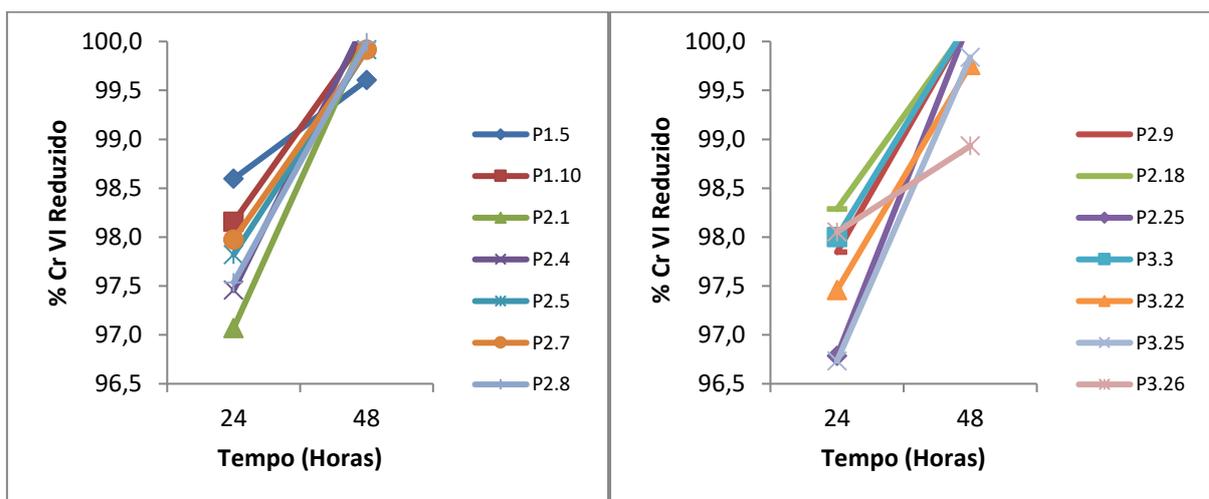


Figura 6 - Biorredução do Cr (VI) pelos isolados bacterianos em meio contendo 2 mg.L⁻¹ de Cr (VI) em 24 e 48 horas de incubação.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Na concentração de 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI) no meio de cultura, o crescimento bacteriano e a consequente biorredução do Cr (VI) também ocorreu, mas em uma menor porcentagem (tabela 4). A maioria dos isolados bacterianos apresentaram uma redução próxima de 50% do Cr (VI) presente na concentração de 250 mg.L⁻¹ no meio de cultura. Assim, os quatro isolados que conseguiram uma maior biorredução em 24 e 48 horas, foram P2.9 (*A. ursingii*), P2.18 (*B. amyloliquefaciens*), P2.25 (*B. cereus*) e P3.3 (*Exiguobacterium* sp.), com percentuais entre 49,3 e 50,1% de redução. Todavia, os que apresentaram uma menor biorredução após 24 horas foram P1.10 (*B. amyloliquefaciens*), P3.22 (*Ochrobactrum* sp.) e P3.26 (*Acinetobacter* sp.). Mesmo assim, estes, como os demais, tiveram um aumento na redução do Cr (VI) do meio com 48 horas de incubação, ficando entre 52,5% e 62,5% de Cr (VI) reduzido (figura 7). O isolado P3.26 atingiu máxima redução entre todos os isolados.

Tabela 4 - Redução do Cr (VI) pelos isolados bacterianos após 24 e 48 horas de crescimento em meio contendo 250 mg. L⁻¹ de Cr (VI).

Isolado	Teor Cr (VI) após 24H (mg. L ⁻¹)	Redução após 24H (%)	Teor Cr (VI) após 48H (mg. L ⁻¹)	Redução após 48H (%)
P1.5	128,6	48,6	118,64	52,5
P1.10	165,7	33,7	95,95	61,6
P2.1	131,8	47,3	97,71	60,9
P2.4	131,5	47,4	102,84	58,9
P2.5	130,2	47,9	97,16	61,1
P2.7	128,2	48,7	107,19	57,1
P2.8	129,5	48,2	97,93	60,8
P2.9	126,7	49,3	111,98	55,2
P2.18	125,4	49,8	95,95	61,6
P2.25	124,7	50,1	96,78	61,3
P3.3	126,4	49,4	96,34	61,5
P3.22	170,5	31,8	96,01	61,6
P3.25	129,7	48,1	108,01	56,8
P3.26	152,6	39,0	93,80	62,5

Fonte: Autoria Própria, 2018.

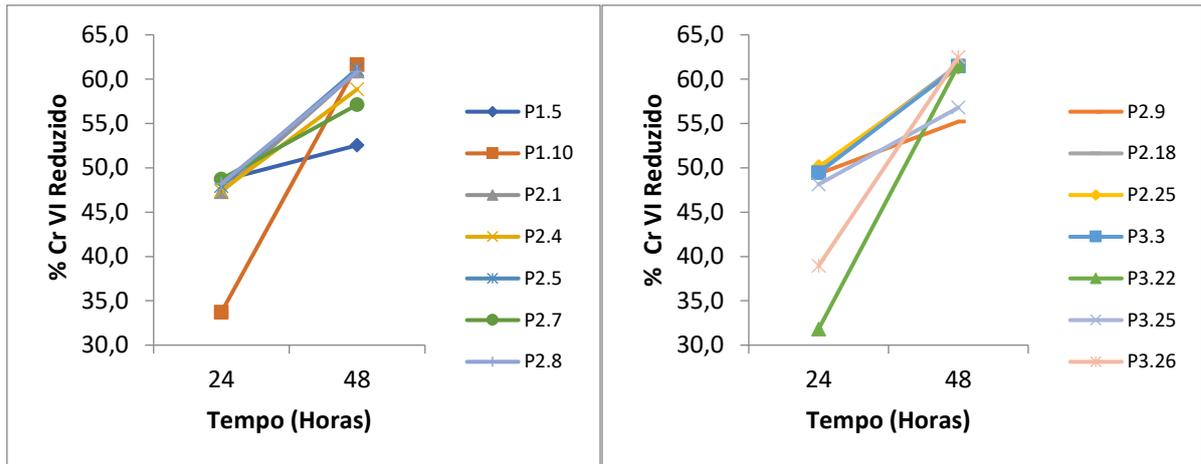


Figura 7 - Redução de Cr (VI) dos isolados bacterianos em meio contendo 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI), em 24 e 48 horas de incubação.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Na tabela 5, são apresentados os dados obtidos na biorredução realizada pelos isolados bacterianos multiplicados em meio de cultura com 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI). Assim, pode ser verificado que em 24 horas, todos os microrganismos conseguiram reduzir somente um pequeno valor de Cr (VI) no meio de cultura contendo 500mg L⁻¹ de Cr (VI), variando de 0,2% a 9,7%. Destaca-se os isolados P2.4 (*A. ursingii*), P3.22 (*Ochrobactrum* sp.), P2.9 (*A. ursingii*) e P3.25 (*A. baumannii*), com valores de 9,7, 7,3, 5,8 e 5,0%, respectivamente. Por outro lado, todos os isolados, com 48 horas de incubação aumentaram os índices de redução de Cr (VI) do meio, variando de 7,4% a 24,5% (tabela 5 e figura 8). Cabe destacar que os isolados P2.8 e P2.9 ambos da espécie *A. ursingii*, conseguiram reduzir cerca do dobro dos demais em 48 horas, obtendo índices de 21,3 e 24,5%, respectivamente.

Tabela 5 - Redução do Cr (VI) pelos isolados bacterianos após 24 e 48 horas de crescimento em meio contendo 500mg L⁻¹ de Cr (VI).

Isolado	Teor Cr (VI) após 24H (mg. L ⁻¹)	Redução após 24H (%)	Teor Cr (VI) após 48H (mg. L ⁻¹)	Redução Após 48H (%)
P1.5	490,6	1,9	435,5	12,9
P1.10	499,1	0,2	444,1	11,2
P2.1	492,3	1,5	462,8	7,4
P2.4	451,4	9,7	438,2	12,4
P2.5	482,2	3,6	440,9	11,8
P2.7	491,9	1,6	452,9	9,4
P2.8	486,9	2,6	393,5	21,3
P2.9	470,9	5,8	377,5	24,5
P2.18	492,5	1,5	419,7	16,1
P2.25	478,4	4,3	438,4	12,3
P3.3	476,8	4,6	428,7	14,3
P3.22	463,5	7,3	431,4	13,7
P3.25	474,9	5,0	426,3	14,7
P3.26	480,2	4,0	437,7	12,5

Fonte: Autoria Própria, 2018.

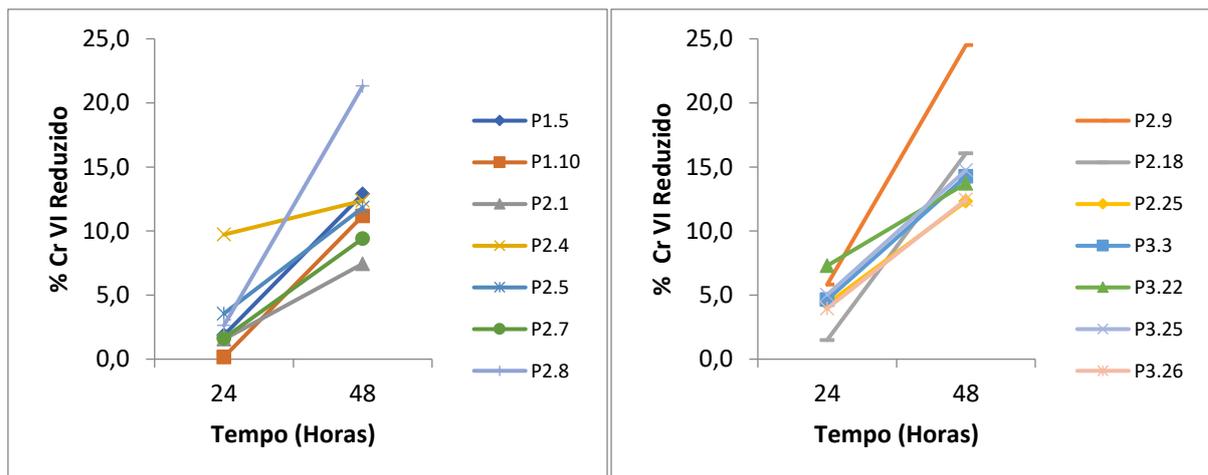


Figura 8 - Redução de Cr (VI) dos isolados bacterianos em meio contendo 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), em 24 e 48 horas de incubação.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Tabela 6 - Teste de *Scott-knott* para avaliar estatisticamente os melhores isolados biorredutores de Cr (VI) em 24 e 48 Horas. Probabilidade de 5%.

Isolado	24h de Crescimento			Isolado	48 Crescimento		
	Concentração Cr (VI)				Concentração Cr (VI)		
	2 mg	250 mg	500mg		2 mg	250 mg	500 mg
P225	0.06 a A	124.63 a B	478.33 f C	P326	0,02 a A	93.87 a B	437,73 h C
P218	0.03 a A	125.43 b B	492.53 n C	P218	0,00 a A	96,00 b B	419,70 c C
P33	0.04 a A	126.43 c B	476.77 e C	P110	0,00 a A	96,00 b B	444,07 m C
P29	0.04 a A	126.70 d B	470.93 c C	P322	0,00 a A	96,03 b B	431,43 f C
P27	0.04 a A	128.23 e B	491.93 l C	P33	0,00 a A	93,33 c B	428,33 e C
P15	0.03 a A	128.53 f B	490.56 j C	P225	0,00 a A	96,8 d B	438,40 j C
P28	0.05 a A	129.50 g B	486.87 i C	P25	0,00 a A	97,17 e B	440,90 l C
P325	0.07 a A	129.67 h B	474.87 d C	P218	0,00 a A	97,33 f B	419,70 c C
P25	0.04 a A	130.23 i B	482.20 h C	P28	0,00 a A	97,9 g B	393,50 b C
P24	0.05 a A	131.53 j B	451.37 a C	P24	0,00 a A	102,83 h B	438,17 i C
P21	0.05 a A	131.73 l B	492.30 m C	P27	0,00 a A	107,20 i B	452,93 n C
P326	0.04 a A	152.63m B	480.20 g C	P325	0,00 a A	108,07 j B	426,33d C
P110	0.03 a A	165.70 n B	499.13 o C	P29	0,00 a A	111,97 l B	377,47 a C
P322	0.05 a A	170.50 o B	478.33 f C	P15	0,01 a A	118,67 m B	435,50 g C

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O teste estatístico utilizado confirmou que os isolados P2.25 - *Bacillus cereus* P2.18 - *Bacillus amyloliquefaciens* foram os que mais reduziram em 24 horas de incubação no meio com 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI). Já com o mesmo tempo e dobrada a concentração (500 mg.L⁻¹ de Cr (VI)), os isolados P2.4 e P2.9 (ambos *Acinetobacter ursingii*) foram os que mais reduziram.

Todavia, com no período de incubação de 48 horas de crescimento, os isolados P3.26 - *Acinetobacter* sp., P1.10 e P2.18 - *Bacillus amyloliquefaciens* e P3.22 - *Ochrobactrum* sp. apresentaram maior biorredução de metal do meio com 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI) e P2.8 e P2.9 (*Acinetobacter ursingii*) no meio com 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), confirmando os dados anteriores.

4 DISCUSSÃO

O uso de metais na indústria tem influenciado o aumento de rejeitos com alto potencial de toxicidade, que na maioria dos casos são lançados nos ecossistemas sem um tratamento prévio (BIZANI; SPAGIARI, 2016). Uma vez no ambiente, esses contaminantes, entre eles os metais pesados, podem se mostrar biodisponíveis e assim serem utilizados pelos microrganismos nos seus processos fisiológicos (CARNEIRO; GARIGLIO, 2010). Uma variedade de microrganismos possui a capacidade de degradar e biorreduzir contaminantes ambientais, entre eles o Cr (VI). Nesse sentido, a biorredução pode promover a redução de um estado mais oxidado para outro de menor valência (Cr VI a Cr III), ocasionando a diminuição da concentração do metal. Sendo assim, os microrganismos que possuem esta capacidade podem ser isolados de diversos ambientes, principalmente os contaminados (JOUTEY et al., 2015). O município de Estância Velha é conhecido por ser um polo da indústria coureiro-calçadista, o qual utiliza em seus processos de curtimento os sais de cromo que se não tratados acabam por contaminar os corpos d'água onde são despejados. Atualmente, o município conta com apenas dez indústrias licenciadas para o despejo de efluentes no arroio, enquanto no ano de 2006 eram quarenta indústrias licenciadas (ESTÂNCIA VELHA, 2018).

Nas análises de Cr total e Cr (VI) dos três pontos amostrados do arroio Estância Velha, tanto a água quanto o sedimento houve resultados que ficaram abaixo do limite de detecção do método. Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), somente a quantidade de Cr total é enquadrado nas diferentes classes de água e, neste estudo, os pontos amostrados foram classificados como águas de Classe 1, ou seja, destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. Mitteregger-Junior et al. (2006) e Pavani (2009), em seus estudos sobre o arroio Estância Velha, também não evidenciaram a presença de Cr (VI), porém, encontraram Cr total em pontos a partir da nascente ($>0,5 \text{ mg. L}^{-1}$). Pavani (2009), coloca que no período de monitoramento de 2005 a 2009, nos mesmos locais desse estudo, o ponto 1 não apresentou Cr total acima do limite de detecção do método ($0,005 \text{ mg. L}^{-1}$), enquanto o ponto 2 em 64,3% das análises ficou abaixo o limite de detecção, sendo que em dezembro de 2006 apresentou seu máximo de $0,38 \text{ mg. L}^{-1}$. Com relação ao

ponto 3, este apresentou teores de Cr total acima do limite de detecção, sendo o maior valor em setembro de 2005 ($1,8 \text{ mg. L}^{-1}$) (PAVANI, 2009). Também, de acordo com o histórico de análises realizadas pela prefeitura de Estância Velha nos últimos dez anos, foram detectadas concentrações de Cr total acima do limite ($<0,05 \text{ mg Cr. L}^{-1}$) da Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005). Para o ponto 2 isso ocorreu nos anos de 2008 e 2012 e no ponto 3 só não ocorreu em 2011, 2014 e 2016, com seu maior valor em 2012 ($0,20 \text{ mg Cr. L}^{-1}$). Todavia, nas análises para Cr (VI), somente os pontos 2 e 3 apresentaram teores de $0,01 \text{ mg. L}^{-1}$ (ponto 2 em 2015) e $0,11 \text{ mg. L}^{-1}$ (ponto 3 em 2013). Os índices de Cr encontrados mais expressivos, como por exemplo, o apresentado no ponto 3 em 2013, podem ser decorrência de despejos de efluentes por indústrias não licenciadas e com isso fora dos padrões de lançamento. Mesmo que nas análises realizadas nesse estudo não tenha sido encontrado o Cr (VI) em nenhuma das amostras, o histórico de contaminação desse corpo hídrico seja por Cr total ou Cr (VI), corrobora para justificar a presença de microrganismos resistentes e capazes de biorreduzir o Cr (VI).

Cabe destacar que o índice pluviométrico (volume de chuvas) registrado nos trinta dias anteriores as coletas das amostras de água foram obtidos no sistema HIDRO da rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA, 2019). Esses índices foram medidos na estação de Campo Bom - RS e demonstram que houve um período pouco chuvoso antecessor a realização dessa coleta, sendo que nos sete dias anteriores a coleta, o total de chuva foi de 2,8 mm. Assim, os índices de chuvas que antecederam as coletas não resultaram num aumento do volume de água do arroio. Esse baixo volume da água pode ter contribuído para uma alteração nos resultados dos parâmetros, indicando menor diluição dos componentes na água. Grandes volumes de chuva podem impactar nos resultados através de drenagem urbana, que transporta mais fontes poluidoras aos recursos hídricos.

Com relação ao sedimento do Arroio Estância Velha, pode-se verificar que somente a amostra da nascente (P1) apresentou o valor de Cr total abaixo do limite de detecção ($<3 \text{ mg Cr.kg}^{-1}$). Nos pontos 2 e 3 os valores encontrados foram $10,8$ e $12,1 \text{ mg Cr.kg}^{-1}$, bem abaixo da referência para Cr total em solos pela Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009), que estabelece um limite máximo de $400 \text{ mg Cr.kg}^{-1}$, sendo que no Brasil não existe parâmetros e legislação para amostras de sedimentos. Os resultados de Cr (VI) ficaram todos abaixo do limite de detecção ($<0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$). Cabe destacar ainda, que no histórico das análises de água e sedimentos

do arroio Estância Velha realizada pela prefeitura foram encontrados valores consideráveis de Cr (VI), principalmente em 2009, apresentando seu teor máximo (138 mg.kg^{-1}), no ponto 3, onde a concentração de indústrias é maior. Adicionalmente, no histórico de Cr total, os três pontos analisados apresentaram valores maiores que os obtidos nesse trabalho, destacando-se o ponto 3 em 2007 (2145 mg.kg^{-1}) e 2009 (3594 mg.kg^{-1}) e em menor quantidade em 2010 (503 mg.kg^{-1}) e 2011 (772 mg.kg^{-1}) no ponto 2. Desta forma, todos os valores ficaram acima da referência de Cr em solos da Resolução Conama nº 420 (BRASIL, 2009), contribuindo também para justificar a maior ocorrência de bactérias tolerantes e biorredutoras nos pontos 2 e 3.

Conforme Rosales et al. (2016), o conteúdo de Cr em sedimentos representa um risco ambiental permanente, isso porque o Cr poderia ser redissolvido em água, permanecer suspenso ou ser transportado a jusante do rio. O Cr (VI) predomina em concentração maior que 10 mM e em pH entre 2 e 6, sendo que sua adsorção em sedimentos é limitada devido à predominância de pontos de troca carregados negativamente nos sedimentos, o que não acontece com o Cr (III) que é prontamente adsorvido (ROSALES et al., 2016). Assim, considerando Mitteregger-Junior et al. (2006), o Cr total determinado em uma amostra representa a soma das formas iônicas de Cr (III) e Cr (VI). Com isso, como nas análises realizadas só foi encontrado Cr total nos pontos 2 e 3, é possível concluir que o Cr total encontrado equivale ao Cr (III). Mädler et al. (2016) colocam que a geoquímica de sedimentos pode favorecer a redução de Cr (VI) mesmo sob condições alcalinas, o que pode diminuir o resultado desse analito na amostra. De acordo com Rosales et al. (2016) a maior concentração de poluentes em um sedimento se situa entre 20 e 50 centímetros de profundidade. Em seu trabalho, encontraram o Cr em diferentes estados de oxidação e em altas quantidades ($11099 \text{ mg Cr.kg}^{-1}$), mesmo em profundidade de um metro no sedimento do leito do Rio Guadalentin (Espanha), onde são descartados os efluentes de curtumes. Enquanto que a maior concentração de Cr (VI) encontrada foi na profundidade de 20-50 cm ($78,92 \text{ mg Cr.kg}^{-1}$) (ROSALES et al., 2016).

O uso de bactérias para a redução de metais ainda não é tão usual quanto para a biodegradação de compostos orgânicos. Todavia, alguns autores utilizam bactérias conhecidas e cultiváveis em laboratório para testes de biorredução. De acordo com Joutey (2015), monoculturas de diferentes cepas bacterianas têm sido usadas na maioria dos estudos de biorremediação de Cr VI (ZAHOOR; REHMAN, 2009; HE et al.; 2011; FARAG; ZAKI, 2010). Bizani e Spagiari (2016) utilizaram linhagens de

Micrococcus luteus e *Acetobacter aceti* para redução de Cr (VI) obtendo, ao final de 96 horas de incubação, reduções de 36 e 38%, respectivamente, em uma concentração inicial de 300 mg Cr. L⁻¹. *Bacillus sphaericus* AND 303 foi utilizada em 20 µM Cr (VI) e, após 24 horas de incubação, obtiveram redução de até 87,5% (PAL et al., 2013). No presente estudo, em 24 horas de incubação, oito isolados bacterianos P2.1, P2.4, P2.7, P2.8 e P2.9 (*Acinetobacter ursingii*), P2.18 (*Bacillus amyloliquefaciens*), P2.25 (*Bacillus cereus*), e P3.3 (*Exiguobacterium* sp.) conseguiram reduções próximas de 50% na concentração de 250 mg Cr (VI). L⁻¹, assim, verifica-se biorreduções superiores às alcançadas por estes autores (BIZANI; SPAGIARI, 2016). Na biorredução de Cr (VI) em solos contaminados na Índia, Wany e Ogunbiyi (2015) obtiveram a redução máxima de 60% com *Pseudomonas* spp, após 120 horas de incubação em 100µg Cr (VI). L⁻¹. Desta forma, considerando o tempo de incubação de 48 horas e comparando com os resultados de Wany e Ogunbiyi (2015), nove isolados deste trabalho apresentaram maiores percentuais de redução de Cr (VI): entre 60,8% (P2.8- *Acinetobacter ursingii*) e 62,5% (P3.26- *Acinetobacter* sp.). Ainda, foi evidenciado que com um maior tempo de incubação (48 horas), ocorreu uma maior biorredução do Cr (VI) nas concentrações de 2, 250 mg. L⁻¹ e 500 mg. L⁻¹, para todos os isolados. Cabe ainda destacar que os isolados P2.8 e P2.9, identificados como *Acinetobacter ursingii*, apresentaram as maiores biorreduções de Cr (VI) em 48 horas de incubação na maior concentração utilizada, 500 mg. L⁻¹.

O isolamento de linhagens bacterianas com potencial de biorredução de Cr (VI) de ambientes contaminados é reportado por Conceição et al. (2007), que isolou bactérias provenientes do descarte de lodo de curtume em Roca Sales/RS, identificadas como *Aeromonas*, *Aureobacterium*, *Xanthobacter*, *Agrobacterium* e *Bacillus*, que biorreduziram entre 4 e 64% em 24 horas de ensaio em meio nutriente contendo 250 mg Cr (VI). L⁻¹. Os autores relatam que muitos microrganismos do gênero *Bacillus* tem sido isolados com atividade de redução de Cr (VI). Esse resultado se assemelha com os obtidos nesse estudo (61% de biorredução em 48 horas, concentração inicial de 250 mg Cr (VI). L⁻¹) para o gênero *Bacillus* dos isolados P1.10, P2.5, P2.18 e P2.25. Linhagens de *Bacillus* foram isoladas de solos contaminados com Cr na Índia e, alcançaram valores de até 90% de redução em 100 µg.L⁻¹, após 120 horas de incubação (WANI et al., 2015). Assim, apesar de uma redução percentual maior que a obtida nesse trabalho para as espécies de *Bacillus* (em torno de 61%), cabe destacar que a concentração inicial era menor e o tempo de incubação

foi cinco vezes maior, o que pode ter contribuído para uma maior atividade obtida por Wani et al. (2015). Uma bactéria Gram-negativa (PM 08), redutora de cromo isolada de solos contaminados por curtume na Índia, apresentou um potencial para a biorremediação de Cr (VI) com 95% de redução em 72 horas de 100 mg.L⁻¹ (KARMAKAR; RAY, 2013). Ainda, em um isolamento de linhagens provenientes de efluente de curtume, os isolados IFR-2 (*Staphylococcus aureus*) e IFR-3 (*Pediococcus pentosaceus* ATCC 25745) conseguiram reduzir 100% do Cr (VI) em até 24 horas, partindo de uma concentração inicial de 20 mg.L⁻¹ (ILIAS et al.; 2011). Pode-se avaliar que os percentuais de redução obtidos neste estudo foram superiores aos estudos citados, mesmo no maior tempo de incubação para a espécie que mais reduziu (P3.26 – *Acinetobacter* sp, 62,5% em 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI) no tempo de 48 horas).

Os isolados bacterianos obtidos neste estudo P2.1, P2.4, P2.7, P2.8 e P2.9, pertencem à mesma espécie, *Acinetobacter ursingii*, e todos foram isolados no ponto 2 do arroio Estância Velha. Seu potencial de biorredução de Cr (VI) destaca-se como o mais eficiente neste estudo, especialmente para as linhagens P2.8 e P2.9 (21,3 e 24,5% em 500 mg Cr (VI).L⁻¹ em 24 horas de incubação respectivamente). Além das espécies acima, os isolados P3.25 (*A. baumannii*) e P3.26 (*Acinetobacter* sp.) também pertencem ao mesmo gênero *Acinetobacter*. Acerca dos percentuais de redução, destaca-se que em 48 horas a linhagem P3.26 (*Acinetobacter* sp.) foi a bactéria que apresentou o maior índice (62,5%) em 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI), enquanto P3.25 (*A. baumannii*) obteve a quarta maior redução (14,3%) na concentração de 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI). Na literatura, encontram-se alguns estudos com *Acinetobacter* para a redução de Cr (VI): *Acinetobacter* AB1, 56,9%, partindo de 200 mg.L⁻¹ em 72 horas de incubação (ESSAHLE et al., 2012), *Acinetobacter baumannii*, 87,2%, concentração inicial 10 mg.L⁻¹, em 60 horas (ZAKARIA et al. 2005), *Acinetobacter haemolyticus*, 100%, concentração inicial de 50 mg.L⁻¹ e 36 horas de incubação (ZAKARIA et al., 2007) e *Acinetobacter* sp., 100% de 200 mg.L⁻¹ (NARAYANI; VIDYA SHETTY, 2012), em 120 horas de incubação. O gênero *Acinetobacter* possui um alto potencial biorredutor de Cr (VI), como evidenciado também neste estudo.

No ponto 2 também foram isoladas três espécies de *Bacillus*: *B. methylotrophicus* (P2.5), *B. amyloliquefaciens* (P1.10 e P2.18) e *B. cereus* (P2.25). Essas três linhagens conseguiram uma redução de Cr (VI) superior a 61% com 48 horas de incubação em 250 mg.L⁻¹, destacando-se entre os que mais biorreduziram nessas condições. Sandana Mala et al. (2015), também isolou uma linhagem de *Bacillus*

methylophilus, e obteve uma atividade redutora superior à desse trabalho, em termos percentuais, mas para uma menor concentração (91,3% em meio nutriente com 95 μM e 48 horas). Enquanto outros isolados de *Bacillus amyloliquefaciens* apresentaram redução de Cr (VI) de 37,4% sob concentração inicial de 100 mg.L^{-1} , e 45 horas de incubação, inferior a obtida neste estudo para as linhagens P1.10 e P2.18, ambos com 61,6% em 48 horas, a partir de solução contendo 250 mg.L^{-1} de Cr (VI) (DAS et al. 2013). He et al. (2010) isolaram uma linhagem de *Bacillus cereus* que reduziu cerca de 85% de Cr (VI) (concentração inicial de 1mM e 72 horas de teste), percentual maior obtido nesse trabalho. O fato do ponto 2 apresentar mais isolados eficientes na biorredução (oito isolados: P2.1, P2.4, P2.7, P2.8 e P2.9 - *Acinetobacter ursingii*, P2.5 - *B. methylophilus*, P2.18 - *B. amyloliquefaciens* e P2.25 - *B. cereus*) pode estar associado ao histórico de contaminação de Cr no arroio obtida pelas análises da prefeitura especialmente no sedimento, onde foram encontradas altas concentrações de Cr Total nos anos de 2007, 2008 e 2011. Esse local também apresentou ocorrência de Cr (VI) em 2007, 2009 e 2011 no sedimento.

Acerca do ponto 3, o mesmo apresentou quatro isolados eficientes como biorredutores de Cr (VI) em 48 horas de incubação e concentração inicial de 250 mg.L^{-1} , sendo todos de diferentes espécies: *Exiguobacterium* sp. (P3.3), *Ochrobactrum* sp. (P3.22), *Acinetobacter baumannii* (P3.25) e *Acinetobacter* sp. (P3.26), com 61,5%, 61,6%, 56,8% e 62,5% de biorredução de Cr (VI), respectivamente. Rehman e Faisal (2015) relatam a biorredução de Cr (VI) a partir de concentração inicial de 200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (em 24 horas) por *Exiguobacterium* sp., em 39%, inferior a encontrada para essa bactéria nesse estudo (49,4%). Enquanto que Kavita e Keharia (2011) destacaram a alta capacidade de redução de Cr (VI) (100%) por linhagens de *Ochrobactrum* sp. (112 mg.L^{-1} Cr (VI) em 52 horas), isoladas de aterro industrial contaminado por Cr, de Gorwa, Vadodara, Guajarat na Índia. Esperava-se que no ponto 3 do Arroio Estância Velha, a capacidade de biorredução dos isolados bacterianos obtidos neste estudo, pudesse ser maior, uma vez que esse ponto era o final do arroio e, por consequência, aquele com a maior incidência de efluentes industriais e que, adicionalmente, também apresentou uma alta concentração de Cr (VI) no sedimento em 2009 e outras menores em 2007, 2011 e 2017 o que evidencia uma contaminação histórica nesse ponto.

No ponto 1 amostrado no Arroio Estância Velha, somente nos anos de 2009 e 2011 foi encontrado Cr (VI) e historicamente, esse local foi o menos contaminado por Cr (VI). Devido a isso, foram obtidos menos isolados bacterianos biorredutores neste

ponto, P1.5 (*Microbacterium* sp.) e P1.10 (*B. amyloliquefaciens*), que reduziram 52,5 e 61,6% de Cr (VI), respectivamente. Das et al. (2013) relataram o potencial biorredutor da espécie *B. amyloliquefaciens*, que foi isolada de solo de mina de cromita (Sukinda, Índia) em 37% de Cr (VI) em 100 mg.L⁻¹, inferior ao resultado obtido nesse estudo, onde em meio contendo 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI) foi obtida uma biorredução de 61,6% realizada pelo isolado P1.10 (*B. amyloliquefaciens*). Um isolado bacteriano, P1.5, foi identificado como *Microbacterium* sp. e o potencial redutor do Cr (VI) deste gênero também foi citado por Molokwane et al. (2008), que reportou uma redução de 38,1% para uma concentração inicial de 100mg.L⁻¹ de Cr (VI) em 70 horas de incubação. Esse percentual também foi inferior ao desse trabalho onde a redução máxima em 250 mg.L⁻¹ de Cr (VI) foi de 52,5% para o isolado P1.5, em 48 horas de incubação.

De uma forma geral, todos os isolados foram capazes de reduzir o Cr (VI), sendo que os isolados P2.1, P2.4, P2.5, P2.7, P2.8, P2.9, P3.25, P3.26 do gênero *Acinetobacter* obtiveram percentuais de biorredução: entre 55,2 e 62,5% para a concentração inicial de 250 mg Cr (VI).L⁻¹ e 48 horas de incubação. A espécie *Acinetobacter ursingii* (isolado P2.8 e P2.9) foi a que apresentou um maior potencial de biorredução, especialmente no meio com 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), atingindo 21,3% e 24,5%, respectivamente. Além disso, o fato do poluente Cr (VI) ter sido encontrado em alguns anos específicos nas amostras de água e sedimento do Arroio Estância Velha, explicam a presença de microrganismos com atividade redutora de Cr (VI), pois o isolamento de microrganismos resistentes e capazes de reduzir contaminantes pode ser mais efetivo quando é realizado em áreas com histórico de contaminação (JOUTEY et al., 2015).

O Teste de *Scott-knott* foi realizado de modo a obter os melhores isolados biorredutores de Cr (VI) em 24 e 48 Horas, com probabilidade de 5%(tabela 6). Desta forma, foi possível validar e confirmar estatisticamente os dados acima, baseado nas concentrações finais de Cr (VI) no meio.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os dados apresentados nesse estudo, todos os isolados tiveram capacidade de biorreduzir as diferentes concentrações de Cr (VI) utilizadas (2, 250 e 500 mg.L⁻¹), mas os isolados identificados como *Acinetobacter*, de uma forma geral foram os mais eficientes, especialmente quando expostos à concentração de 250mg.L⁻¹ de Cr (VI). Todos os isolados bacterianos obtidos neste estudo são capazes de crescer em meio de cultura contendo 500 mg.L⁻¹ de Cr (VI), porém apenas os isolados P2.8 e P2.9 (*Acinetobacter ursingii*) apresentaram uma maior capacidade de reduzir Cr (VI) após 48 horas de incubação (21,3 e 24,5%, respectivamente), enquanto a maioria reduziu entre 7,4% e 16,1%. Com exceção dos isolados P1.10 (*Bacillus amyloliquefaciens*), P3.22 (*Ochrobactrum* sp.) e P3.26 (*Acinetobacter* sp.), os demais apresentaram capacidade de redução em 24 horas do Cr (VI) muito similares em 250 mg.L⁻¹, variando entre 47,3 e 51,1%. Cabe destacar também que os gêneros e espécies identificados neste trabalho já tinham o seu potencial biorredutor de Cr (VI) comprovado por outros autores. Desta forma, acredita-se que o uso de microrganismos para biorredução de poluentes de toxicidade ambiental elevada como o Cr (VI), é uma metodologia eficiente e que pode ser de baixo custo econômico na utilização em áreas contaminadas.

REFERÊNCIAS

ACKERLEY, D.F; et al. Effect of chromate stress on *Escherichia coli* K-12. **J. Bacteriol.** 188: 3371-3381. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional – Sistema HIDRO.** Disponível em:
< <http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/gerarGrafico.aspx>> Acesso em: 16 mar. 2019.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BIZANI, D.; SPAGIARI, M. S., Avaliação da cinética de comportamento e capacidade de redução de cromo por linhagens bacterianas padrão. **Ciência e Natura.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil vol. 38, núm. 2, p. 648-655, maio-agosto, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 2009.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 2005.

CARNEIRO, D. de A.; GARIGLIO, L. P. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. **Revista Tecer.** v. 3, n. 4, 2010.

CODD, R. et al. Studies on the Genotoxicity of Chromium: from the test tube to the cell. **Coordination Chemistry Reviews**, v.4, n.216, p.537, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010854500004082>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

CONCEIÇÃO, D.; et al. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. **Ciência Rural.** Santa Maria, v.37, n.6, p.1661-1667, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/ccrrevista/>. Acesso em: 16 mai. 2017.

CORTEZ, H. **Aquecimento Global e Água.** 1. ed., 2004. Disponível em: <<http://www.ipcp.org.br/References/Agua/aguaCiclo/AquecimentoGlobal.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

DAS, S. et. al. Investigation on mechanism of Cr (VI) reduction and removal by *Bacillus amyloliquefaciens*, a novel chromate tolerant bacterium isolated from chromite mine soil. **Chemosphere.** Vol. 96, p 112-121, February 2014.

EDWARDS, U.; ROGALL T.; BLOCKERL H.; EMDE, M.; BOTTGER, E. C. Isolation and direct complete nucleotide determination of entire genes. Characterization of a gene coding for 16s ribosomal RNA. **Nucleic Acids Research**, v. 17, n. 19, p. 7843-7853, 1989.

ESTÂNCIA VELHA. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental**. 2014. Disponível em < http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/EST%C3%82NCIA%20VELHA_PMSB_rev_0_pdf.pdf. > Acesso em: 13 mai. 2017.

ESTÂNCIA VELHA. **Secretaria de Meio Ambiente e Preservação Ecológica**. Diagnóstico da qualidade ambiental do arroio. Estância Velha. 2018

ESSAHALE, A. et al. Hexavalent Chromium Reduction and Accumulation by *Acinetobacter* AB1 Isolated from Fez Tanneries in Morocco. **Indian Journal Microbiology**. vol. 52,1, 48-53, 2011.

FARAG, S.; ZAKI, S. Identification of Bacterial Strains from tannery effluents and reduction of Hexavalent Chromium. **Journal Environ. Biology**. 31(5):877-882, 2010.

GODECKE, M. V.; et al. Resíduos de curtumes: estudo das tendências de pesquisa. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v(7), nº 7, p. 1357-1378, 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/5779/3600>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

HAWLEY, E. L, DEEB, R. A, KAVANAUGH, M.C, JACOBS, J.A; Treatment Technologies for chromium (VI) In: Guertin J, Jacobs JA, Avakian CP, editors. **Chromium (VI) handbook**. Boca Raton: CRC Press; p. 273–308. 2004.

He M., LI X., LIU H., MILLER S.J., WANG G., Rensing, C. Characterization and genomic analysis of a highly chromate resistant and reducing bacterial strain *Lysinibacillus fusiformis* ZC1. **Journal of Hazardous Materials**. 185:682–8, 2011.

He, M., Li, X., GUO, L., MILLER, S. J., RENSING, C., & WANG, G. Characterization and genomic analysis of chromate resistant and reducing *Bacillus cereus* strain SJ1. **BMC microbiology**, 10, 221. 2010.

HU, J. et al. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. **Journal of Cleaner Production. China**: 2010, p. 221 – 228. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222654358_Ecological_utilization_of_leather_tannery_waste_with_circular_economy_model>. Acesso em: 17 mai. 2017.

ILIAS, M. et. al. Isolation and Characterization of Chromium (VI)-Reducing Bacteria from Tannery Effluents. **Indian Journal Microbiology** 51(1):76–81. Jan–Mar, 2011.

JOUTEY, N. T.; et. al. Mechanisms of Hexavalent Chromium Resistance and Removal by Microorganisms. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. Vol. 233, 2015.

KARMAKAR, M.; RAY R.R. Characterization of a Hexavalent Chromium Reducing Bacterial strain isolated from Tannery Effluents of Kolkata. **International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives**. 4(2): 337 – 341, 2013.

KAVITA, B.; KEHARIA, H. Reduction of hexavalent chromium by *Ochrobactrum intermedium* BCR400 isolated from a chromium-contaminated soil. **3 Biotech**, 2(1), 79-87, 2011.

LLOYD, J. R. Microbial reduction of metals and radionuclides. **FEMS Microbiology Reviews**. 27 411- 425. 2003.

MÄDLER, S., et al. Trace-Level Analysis of Hexavalent Chromium in Lake Sediment Samples Using Ion Chromatography Tandem Mass Spectrometry. **Journal of Environmental Protection**. 7, 422-434. 2016

MITTEREGGER JÚNIOR, H. et al. Avaliação das atividades tóxicas e mutagênicas da água e do sedimento do Arroio Estância Velha, região coureira-calçadista, utilizando *Allium cepa*. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology**. v.1, p.147-151, 2006. Disponível em: < <http://institutossenai.org.br/public/files/avaliacao-das-atividades-toxicas-e-mutagenicas-da-agua-e-do.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

MOLOKWANE, P. E. et al., Chromium (VI) reduction in activated sludge bacteria exposed to high chromium loading. **Water Research**. Brits culture. South Africa, 2008.

MWINYIHIJA, M. Essentials of ecotoxicology in the tanning industry. **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**. Vol. 3(13), pp. 323-331, 2011. Disponível em:<<http://www.academicjournals.org/journal/JECE/article-abstract/E5BDF8C2174>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

NARAYANI M.; VIDYA SHETTY, K. Characteristics of a Novel *Acinetobacter* sp. and Its Kinetics in Hexavalent Chromium Bioreduction. **J. Microbiol. Biotechnol**. 22. (5), 690–69. 2012

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION. **National Library of Medicine**. USA. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

PADILHA, T.M. et al. Isolamento de linhagens bacterianas degradadoras de hidrocarbonetos BTEX proveniente do setor petroquímico. **Scientia Plena**. V. 13, N. 09, 2017.

PAL, A. Hexavalent Chromium Reduction by Immobilized Cells of *Bacillus sphaericus* AND 303. **Brazilian archives of biology and technology**. Vol.56, n.3: pp. 505-512, May-June, 2013.

PAVANI, F. Arroio Estância Velha: contribuição doméstica e industrial a situação no período de 2005 a 2009 e o enquadramento segundo a resolução Conama 357/2005. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Industrial Química). Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS: 2009.

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. **Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes Impactados**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v(6), nº 6, p. 975 – 1006, 2012.

RAHATGAONKAR, A. M.; MAHORE, N. R. A Selective Bioreduction of Toxic Heavy Metal Ions from Aquatic Environment by *Saccharomyces cerevisiae*. **E-Journal of chemistry**. Vol. 5, No.4, pp. 918-923, 2008.

REHMAN, F.; FAISAL, M. Toxic hexavalent chromium reduction by *Bacillus pumilis*, *Cellulosimicrobium cellulans* and *Exiguobacterium*. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**. Vol 33, Issue 3, p 585–589, May, 2015.

RODRIGUES, S. C.; PRADO, I. M.M. Agentes poluidores de Águas. **Revista Arquivos do MUDI**. Maringá, v. 8, p 40-45, 2004. Disponível em <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20549/10785>>. Acesso em 14 mai. 2017.

ROMANENKO V.I; KOREN'KOV, V.N. A pure culture of bacteria utilizing chromates and bichromates as hydrogen acceptors in growth under anaerobic conditions. **Mikrobiologiya**. 43:414–417, 1977.

ROSALES, R. M. Geochemical speciation of chromium related to sediments properties in the riverbed contaminated by tannery effluents. **Journal of Soils and Sediments**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

SAMBROOK, J.; RUSSEL, D. W. **Molecular Cloning: A Laboratory Manual**. 3 ed. Nova York: Ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001.

SANDANA MALA, J. G. et. al. Inducible chromate reductase exhibiting extracellular activity in *Bacillus methylotrophicus* for chromium bioremediation. **Microbiological Research**. V. 170, p. 235-241, January 2015.

SIMÕES, M. L. G.; TAU-K-TORNISIELO, S. M. Comparação da técnica tradicional e do método turbidimétrico automatizado no cultivo de diferentes fontes de carbono de fungos filamentosos isolados de solo de área de caatinga. **HOLOS Environ**. 94, v.5, n.2, 2005.

STACKEBRANDT, E.; LIESACK, W. **Nucleic acids and classification**. London: Academic Press, 1993.

TANG, S. C. N.; YIN, K.; LO, I. Column study of Cr (VI) removal by cationic hydrogel for in - situ remediation of contaminated groundwater and soil. **Journal of Contaminant Hydrology**. v. 125, n. 1, p. 39-46, 2011.

ZAHOOR, A; REHMAN, A. Isolation of Cr (VI) reducing bacteria from industrial effluents and their potential use in bioremediation of chromium containing wastewater. **Journal of Environmental Science (China)**.; 21(6):814-20. 2009

ZAKARIA, Z. A. et. al. Hexavalent chromium reduction by *Acinetobacter haemolyticus* isolated from heavy-metal contaminated wastewater. **Journal of Hazardous Materials**. 146, 30–38, 2007.

ZAKARIA, Z. A.; et. al. Cr (VI) reduction by bacteria isolated from batek (textile-related) effluent. **16th International Biohydrometallurgy Symposium**. Cape Town, South Africa: 25 – 29 September, 2005.

WANI, P. A.; OGUNBIYI H. A. Bioreduction of Cr (VI) by Heavy Metal Resistant *Pseudomonas* Species. **Journal of Environmental Science and Technology**, 8: 122-130, 2015.

WANI, P. A. et al. Cr (VI) Reduction by Indigenous *Bacillus* Species PB5 Isolated from Contaminated Soil of Abeokuta Ogun State, Nigeria. **International Journal of Soil Science**. 10 (4): 203-210, 2015.

Capítulo II

QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS DO ARROIO ESTÂNCIA VELHA/RS

Luís Felipe da Silveira¹, Sílvio Taffarel¹, Anelise Beneduzi^{1,2*}

¹Universidade La Salle, Av. Vítor Barreto, 2288. CEP 92010-000, Canoas, RS, Brasil.
luisfsilveira@yahoo.com.br; silvio.taffarel@unilasalle.edu.br

²Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (ex-FEPAGRO) da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação (SEAPI) do Rio Grande do Sul, Rua Gonçalves Dias, 570. CEP 90130-060, Porto Alegre, RS, Brasil.

*Autor correspondente anelise.silveira@unilasalle.edu.br

RESUMO

A água é um dos recursos naturais indispensável aos seres vivos e aos ecossistemas do planeta. Todavia, a ação antrópica tem ocasionado diversos impactos aos recursos hídricos, impactando em sua qualidade. O Arroio Estância Velha, (Estância Velha/RS), pertencente à bacia hidrográfica do Rio dos Sinos e possui como uso preponderante a condução de águas pluviais, efluentes industriais, especialmente do setor coureiro, e esgotos. Nesse estudo foram avaliados uma série de parâmetros físico-químicos e microbiológicos na água coletada em três pontos desse arroio e acessado o histórico de análise dos últimos dez anos realizado pela Prefeitura de Estância Velha. Alguns parâmetros tais como, o teor de ferro, de manganês total, de prata total e o alto índice de coliformes termotolerantes encontrado não atenderam os requisitos de classificação de águas de Classe 1 segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) calculado nos três pontos amostrados classificou as águas do arroio como ruim, sendo que apenas a nascente (ponto 1) ficou classificada como aceitável. Os

parâmetros que mais contribuíram negativamente no IQA foram o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e, principalmente, os coliformes termotolerantes. Portanto, os resultados deste estudo permitiram diagnosticar e classificar a qualidade ambiental da água do arroio Estância Velha, sendo constatada uma evidente queda da qualidade, possivelmente causada por intervenções antrópicas.

Palavras-chave: Arroio Estância Velha; qualidade; água; Parâmetros físico-químicos, Índice de Qualidade das Águas (IQA), coliformes.

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos recursos naturais a água é um dos mais importantes para a sobrevivência dos organismos. Segundo Shiklomanov (1998), embora 75% da superfície da Terra seja composta de água, a maior parte não está disponível para o consumo humano, pois, desse percentual, 97,5% é de água salgada, encontrada nos oceanos e mares e somente 2,5% é de água doce. A maior parte da água doce (68,9%) está na forma de gelo e neve, outros 29,9% são águas subterrâneas, 0,9% está sob a forma de umidade e somente 0,3% do montante total de água doce está concentrado em mananciais superficiais. Além disso, a água é necessária nos diferentes setores de atividades, como por exemplo, no setor agropecuário, no abastecimento público, na produção industrial, na geração de energia, entre outros (RODRIGUES; PRADO, 2004).

A água *in natura* ou bruta, disponível na natureza, não é própria para o consumo devido à presença de substâncias como sais minerais, materiais orgânicos e partículas em suspensão e/ou dissolvidas, as quais podem vir do próprio ambiente natural ou serem introduzidas a partir de ações antrópicas. Sendo assim, para caracterizar a qualidade da água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008). De acordo com Braga et al. (2005), os indicadores físicos e organolépticos, compreendem a cor, a turbidez, o sabor, o odor, os sólidos, a condutividade elétrica e a temperatura. As características químicas se evidenciam por elementos ou compostos químicos na água, tais como, a salinidade, a dureza, a alcalinidade, o pH, a acidez, o ferro, o manganês, as impurezas orgânicas, o nitrogênio, os cloretos, os compostos tóxicos, os fenóis, os detergentes, os agrotóxicos e a radioatividade (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; BRAGA et al., 2005). Dentre esses, cabe destacar que a matéria orgânica é indicadora do grau de poluição de um manancial, devido ao carbono, hidrogênio e oxigênio, além de outros elementos como nitrogênio, fósforo e enxofre que a compõem. Em grandes quantidades, a matéria orgânica pode causar alguns problemas, como: cor, odor, turbidez e consumo do oxigênio dissolvido (pelos organismos decompositores). O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios decorrentes do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos decorrentes da morte

de organismos aeróbios (BRASIL, 2014). Com relação às características biológicas da água segundo Braga et al. (2005), pode-se destacar dois indicadores importantes: as algas e os microrganismos patogênicos. Os microrganismos patogênicos são oriundos do despejo de esgoto cloacal com um elevado índice de matéria fecal. Dentre os microrganismos, as bactérias do grupo coliformes (totais e termotolerantes) são consideradas bons indicadores de contaminação fecal e tem sido utilizadas para avaliação da qualidade microbiológica de amostras ambientais (BRAGA et al., 2005; WHO, 2011). De acordo com Oliveira et al. (2012), no Brasil, um dos principais agentes poluidores dos corpos hídricos são os esgotos sanitários, devido à deficitária cobertura de tratamento de esgoto no país. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (BRASIL, 2015), apesar do índice de tratamento ter aumentado em 11% entre 2005 e 2015, apenas 42,7% de todo o esgoto sanitário brasileiro é tratado, sendo que em algumas regiões o índice ainda é menor que 10%. Os efluentes resultantes da atividade industrial não deveriam causar dano e nem alterar as características dos corpos hídricos receptores se as normas e legislações vigentes fossem atendidas.

O Arroio Estância Velha, situado no trecho médio da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, é um dos formadores do arroio Portão que tem sua foz no Rio dos Sinos (ESTÂNCIA VELHA, 2014). O Arroio Estância Velha/Portão tem 20 km de extensão e no interior do município de Estância Velha, possui extensão aproximada de 8 km, atravessando a sede deste, onde o canal principal do arroio apresenta é utilizado para a condução de águas pluviais, de esgotos cloacais e de efluentes industriais, especialmente do setor coureiro (ESTÂNCIA VELHA, 2014). Conforme dados do SNIS (BRASIL, 2015), somente 2,84% do esgotamento sanitário do município é coletado e desse montante apenas 17,57% é tratado. Portanto, considerando as consequências que diversos agentes poluidores podem acarretar nos corpos hídricos, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade ambiental da água do Arroio Estância Velha, utilizando-se critérios físico-químicos e microbiológicos e adicionalmente acessar o histórico de análises dos últimos dez anos realizado pela prefeitura de Estância Velha.

2 METODOLOGIA

2.1 Coleta das amostras

As coletas das amostras de água foram realizadas em 9 de outubro de 2017 ao longo da extensão do Arroio Estância Velha/RS. Os pontos definidos foram a nascente sendo o ponto 1 (P.1 – 29° 38' 32,5" latitude sul e 51° 09'29,1" longitude oeste), localizada em uma região pouco urbanizada, com propriedades rurais e próxima a zona especial de mineração do município. Considerando as ocupações antrópicas e industriais, ficou estabelecido como ponto 2 (P.2 – 29° 38' 53,6" latitude sul e 51° 10' 20,0" longitude oeste) o local a montante da área de maior demografia, que corresponde ao seu núcleo urbano e o ponto 3 (P.3 – coordenadas 29° 39' 51,2" sul e 51° 12' 07,5" oeste) a jusante e próximo ao encontro com o Arroio Portão, localizando-se na zona industrial de Estância Velha (figura 1). As coletas da Prefeitura de Estância Velha foram realizadas sempre no terceiro trimestre de cada ano, pelos últimos dez anos nos mesmos pontos mencionados anteriormente.

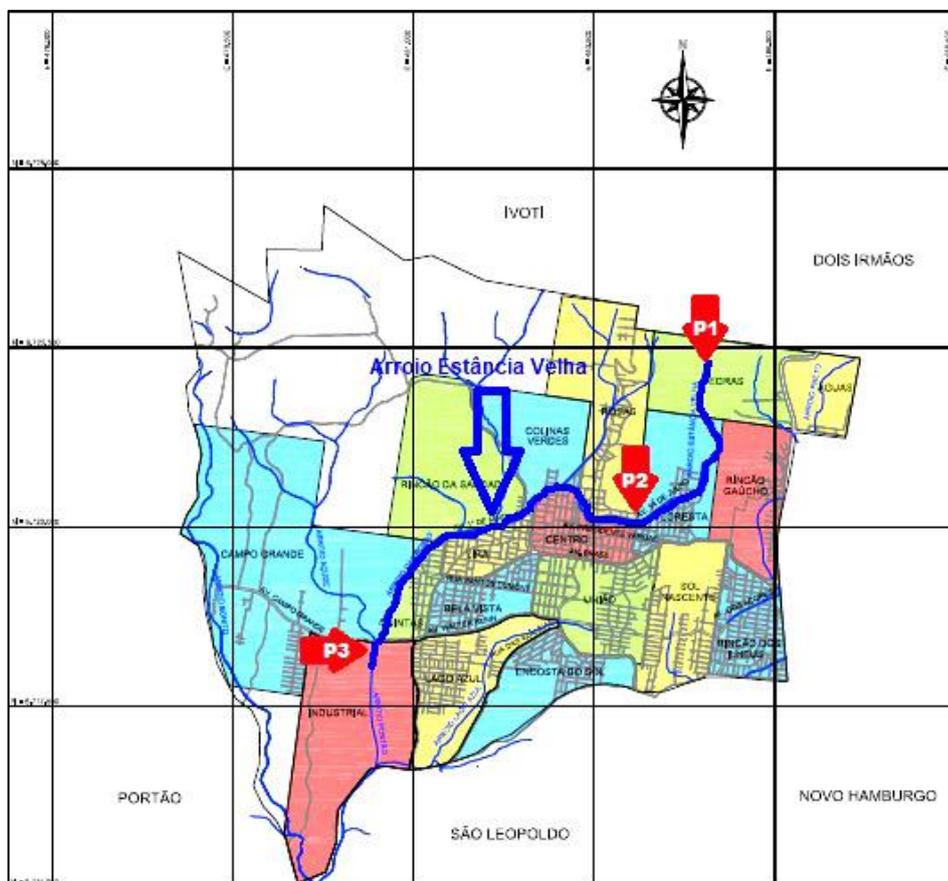


Figura 1 - Pontos de amostragem de água do Arroio Estância Velha/RS: P.1 nascente, P.2 a montante e P.3 a jusante da área de maior demografia.

Fonte: Estância Velha, 2014.

As coletas das amostras de água para a análise foram realizadas em frascos plásticos de 2.000 mL (2L) e vidros âmbar 1.000 mL (1L) esterilizados. Após a coleta, os frascos foram lacrados, refrigerados a $4 \pm 2^\circ\text{C}$ e mantidos protegidos da luz até o momento das análises.

2.2 Análises físico-químicas

Para a realização das análises de presença de metais nas amostras de água, as mesmas foram enviadas ao SGS Geosol Laboratórios que utiliza espectroscopia de plasma indutivamente acoplado de emissão óptica (ICP-OES) para essas determinações. As demais análises foram realizadas nos laboratórios do Centro de Pesquisas Ambientais da Universidade La Salle e baseadas nos *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), assim como as metodologias utilizadas nas análises da Prefeitura de Estância Velha. Os parâmetros físico-químicos analisados permitiram o enquadramento dos pontos conforme os critérios de classificação determinados na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Adicionalmente, foi utilizado o Índice de Qualidade das Águas (IQA) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos: temperatura d'água, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez, cada qual com seus respectivos pesos (w), e valores de qualidade (q) que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água.

2.3 Análise microbiológica da água

A partir de cada amostra bruta de água, foram feitas diluições seriadas até a diluição 10^{-5} . Para a quantificação de coliformes totais e termotolerantes foi utilizada a técnica do Número Mais Provável (NMP), onde foi aplicado 1 mL de cada diluição em 5 séries de 5 tubos contendo 9 mL do substrato cromogênico (Colilert®), estes tubos foram incubados por 24 horas à 35°C . Os tubos com mudança da cor original para amarelo foram considerados positivos para coliformes totais. Para a confirmação dos coliformes termotolerantes, os tubos positivos foram submetidos à luz ultravioleta

sendo considerados positivos aqueles com emissão de fluorescência. Os resultados dessas diluições foram avaliados através de combinações de contagem de tubos com resultado positivo e comparação com a tabela de Número Mais Provável (NMP).

3 RESULTADOS

Foram analisados cinquenta e dois parâmetros físico-químicos e microbiológicos para se diagnosticar a qualidade da água do arroio Estância Velha. Desses, trinta e um (Fluoreto, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio total, Fósforo Total, Sulfato Total, pH, Sólidos totais, Turbidez, Cor, Cloretos, Alumínio Total, Bário Total, Berílio Total, Bismuto Total, Boro Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobalto Total, Cobre Total, Cromo Total, Ferro Total, Lítio Total, Manganês Total, Níquel Total, Prata Total, Vanádio Total, Zinco Total, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Coliformes Termotolerantes) estão descritos e possuem padrões limitados na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e outros nove parâmetros compõem o Índice de Qualidade das Águas (temperatura, pH, OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez).

Observando a tabela 1, verifica-se que: o menor OD encontrado foi no ponto 1 ($2,6 \text{ mg.L}^{-1}$) em relação aos demais locais (ponto 2: $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e ponto 3: $6,3 \text{ mg.L}^{-1}$). O mesmo ocorreu para a DBO e DQO no ponto 1 ($0,05$ e $3,03 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente). O único resultado do ponto 1 que ficou maior que os demais, foi o teor de prata total ($0,113 \text{ mg.L}^{-1}$), seguido do ponto 2 com $0,082 \text{ mg.L}^{-1}$ e o ponto 3 com $0,062 \text{ mg.L}^{-1}$. O ponto 2 apresentou os maiores valores para os seguintes parâmetros: dureza (58 mg.L^{-1}), fósforo total ($0,24 \text{ mg.L}^{-1}$), pH (7,2), alumínio total ($0,22 \text{ mg.L}^{-1}$), ferro total ($2,61 \text{ mg.L}^{-1}$) e coliformes termotolerantes ($5,4 \times 10^4$ NMP/100mL). Enquanto que no ponto 3, os maiores valores foram encontrados nos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido ($6,3 \text{ mg.L}^{-1}$), demanda bioquímica de oxigênio ($3,95 \text{ mg.L}^{-1}$), demanda química de oxigênio ($80,73 \text{ mg.L}^{-1}$), sólidos totais (175 mg.L^{-1}), turbidez ($13,85 \text{ UT}$) e cor ($112,5 \text{ mg.L}^{-1}$).

Tabela 1 - Resultado das análises dos parâmetros físico-químicos das águas nos pontos amostrados do arroio Estância Velha, enquadrados de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Parâmetros	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Oxigênio dissolvido ¹ (mg.L ⁻¹)	2,6	5,0	6,3
Demanda bioquímica de oxigênio ¹ (mg.L ⁻¹)	0,05	3,30	3,95
Demanda química de oxigênio (mg.L ⁻¹)	3,03	58,72	80,73
Dureza (mg.L ⁻¹)	54	58	55
Cloretos (mg.L ⁻¹)	3,95	12,83	26,02
Fosfato (mg.L ⁻¹)	ND	0,74	0,43
Brometo (mg.L ⁻¹)	ND	0,29	0,29
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,02	0,15	0,12
Nitrato (mg.L ⁻¹)	ND	0,29	ND
Nitrito (mg.L ⁻¹)	ND	ND	ND
Nitrogênio total ¹ (mg.L ⁻¹)	ND	ND	ND
Fósforo Total ¹ (mg.L ⁻¹)	<0,02	0,24	0,14
Sulfato Total (mg.L ⁻¹)	8,56	8,18	24,44
pH ¹	7,04	7,2	7,12
Sólidos totais ¹ (mg.L ⁻¹)	111	135	175
Temperatura ¹ (°C)	20	20	19
Turbidez ¹ (UT)	7,5	10,6	13,85
Cor (mg.L ⁻¹)	103	95	112,5
Condutividade (µS/cm)	89,45	135,60	161,05
Alumínio Total (mg.L ⁻¹)	<0,05	0,22	0,05
Bário Total (mg.L ⁻¹)	0,03	0,09	0,07
Berílio Total (mg.L ⁻¹)	<0,004	<0,004	<0,004
Bismuto Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Boro Total (mg.L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2
Cádmio Total (mg.L ⁻¹)	<0,001	<0,001	<0,001
Cálcio Total (mg.L ⁻¹)	13,3	15,3	15,4
Chumbo Total (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Cobalto Total (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total (mg.L ⁻¹)	<0,009	<0,009	<0,009
Cromo Hexavalente (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Escândio Total (mg.L ⁻¹)	<0,03	<0,03	<0,03
Estanho Total (mg.L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2
Estrôncio Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,94	2,61	2,27
Ítrio Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Lantânio Total (mg.L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2
Lítio Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Magnésio Total (mg.L ⁻¹)	4,67	4,88	4,25
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,29	0,24	0,29
Molibdênio Total (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Níquel Total (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01
Potássio Total (mg.L ⁻¹)	1,16	4,05	3,94
Prata Total (mg.L ⁻¹)	0,113	0,082	0,062
Sódio Total (mg.L ⁻¹)	7,73	16,6	28,3
Telúrio Total (mg.L ⁻¹)	<0,3	<0,3	<0,3
Titânio Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Tungstênio Total (mg.L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2
Vanádio Total (mg.L ⁻¹)	<0,02	<0,02	<0,02
Zinco Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1
Zircônio Total (mg.L ⁻¹)	<0,2	<0,2	<0,2
Coliformes Termotolerantes ¹ (NMP/100mL)	7,0x10 ³	5,4x10 ⁴	3,1x10 ³

Legenda: Classe 1 (verde), Classe 2 (amarelo), Classe 3 (laranja) e Classe 4 (vermelho). (¹) parâmetros utilizados para o cálculo do IQA. Alguns parâmetros analisados não constam nesta resolução e, por

isso, aparecem sem destaque de cor. Os resultados apresentados como “ND” foram aqueles abaixo do limite de detecção do método.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O índice pluviométrico (volume de chuvas) registrado nos trinta dias anteriores as coletas das amostras de água foram obtidos no sistema HIDRO da rede Hidrometeorológica Nacional da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2019). Esses índices foram medidos na estação de Campo Bom - RS e demonstram que houve um período pouco chuvoso anterior a realização dessa coleta, sendo que nos sete dias anteriores a coleta, o total de chuva foi de 2,8 mm. Assim, os índices de chuvas que antecederam as coletas não resultaram num aumento do volume de água do arroio. Esse baixo volume da água pode ter contribuído para uma alteração nos resultados dos parâmetros, indicando menor diluição dos componentes na água. Grandes volumes de chuva podem impactar nos resultados através de drenagem urbana, que transporta mais fontes poluidoras aos recursos hídricos.

Nas figuras 2, 3, 4 e 5 a seguir, estão apresentados os resultados dos parâmetros relacionados à presença de matéria orgânica disponibilizados pela Prefeitura de Estância Velha, compreendendo um histórico dos últimos dez anos (excetuando-se o ano de 2009) das águas do Arroio Estância Velha: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO) e coliformes termotolerantes.

No histórico das análises de OD entre 2007 e 2017 (figura 2), pode-se verificar que no ponto 1, os menores valores registrados foram em 2013 ($2,7 \text{ mg.L}^{-1}$), 2016 ($2,65 \text{ mg.L}^{-1}$) e 2017 ($2,63 \text{ mg.L}^{-1}$). Com relação ao ponto 2, o resultado mais próximo ao desse trabalho ($5,0 \text{ mg.L}^{-1}$), foi encontrado em 2017 ($4,98 \text{ mg.L}^{-1}$) e, nos dois anos anteriores, ficaram próximos de 3 mg.L^{-1} . Enquanto que no ponto 3, foi onde a OD foi maior ($6,3 \text{ mg.L}^{-1}$) entre os três locais e isso se observou também no histórico das análises nos anos de 2007, 2010, 2011, 2015 e 2016, com os respectivos valores de 8,8, 6,6, 6,8, 8,6 e $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Além disso, verifica-se que, de uma forma geral, nos anos de 2012, 2013, 2016 e 2017 as concentrações de OD nos três pontos amostrados do arroio tiveram os menores valores encontrados.

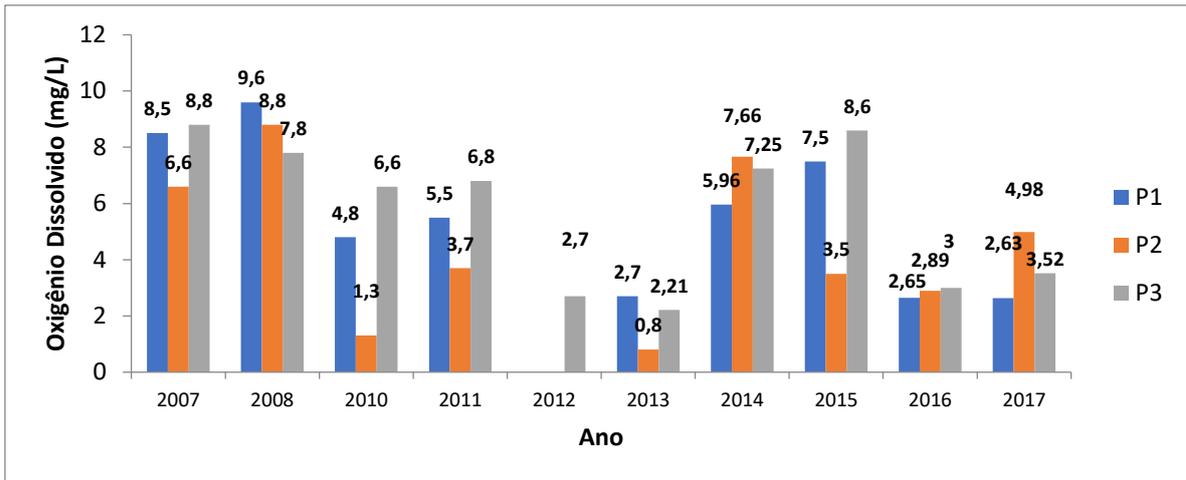


Figura 2 - Histórico das análises do teor de Oxigênio Dissolvido encontrado na água dos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3) do Arroio Estância Velha, no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

O valor de DBO_5 encontrado no ponto 1 desse estudo ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$), foi menor que todos os valores dos dados históricos (figura 3). Enquanto que a DBO_5 encontrada no ponto 2 ($3,3 \text{ mg.L}^{-1}$), somente foi maior que o ano de 2017 (2 mg.L^{-1}). Ainda, no ponto 3, esse parâmetro apresentou um menor valor ($3,95 \text{ mg.L}^{-1}$) que os encontrados nos dados.

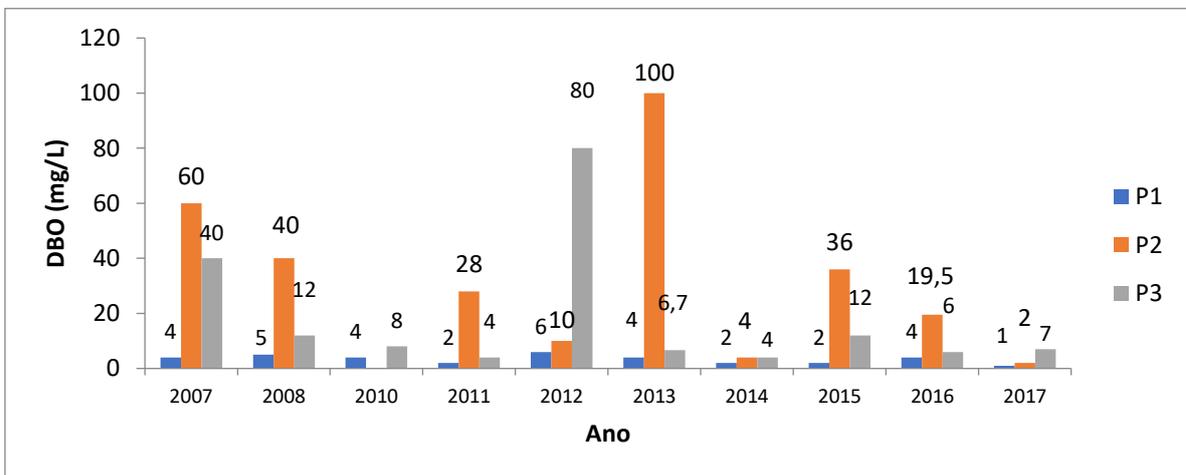


Figura 3 - Histórico dos resultados das análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) encontrados na água dos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3) do Arroio Estância Velha, no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Sobre a DQO, o ponto 1 nesse estudo, apresentou um resultado menor ($3,03 \text{ mg.L}^{-1}$) que os demais pontos (P2 - $58,72 \text{ mg.L}^{-1}$ e P3 - $80,73 \text{ mg.L}^{-1}$), assim como no histórico desse local (figura 4), nos anos de 2007 (8 mg.L^{-1}), 2010 (27 mg.L^{-1}),

2011 (7,8 mg. L⁻¹), 2012 (8 mg. L⁻¹), 2016 (6,4 mg. L⁻¹) e 2017 (2,6 mg. L⁻¹). A DQO do ponto 2 (58,72 mg. L⁻¹) só foi maior do que em 2014 (10,3 mg.L⁻¹), 2016 (14 mg.L⁻¹) e 2017 (9,4 mg.L⁻¹). No ponto 3, o parâmetro de DQO (80,73 mg.L⁻¹) só foi menor que o registrado no ano de 2012 (812 mg.L⁻¹), que figurou como o maior valor entre todos os dados de análise do histórico.

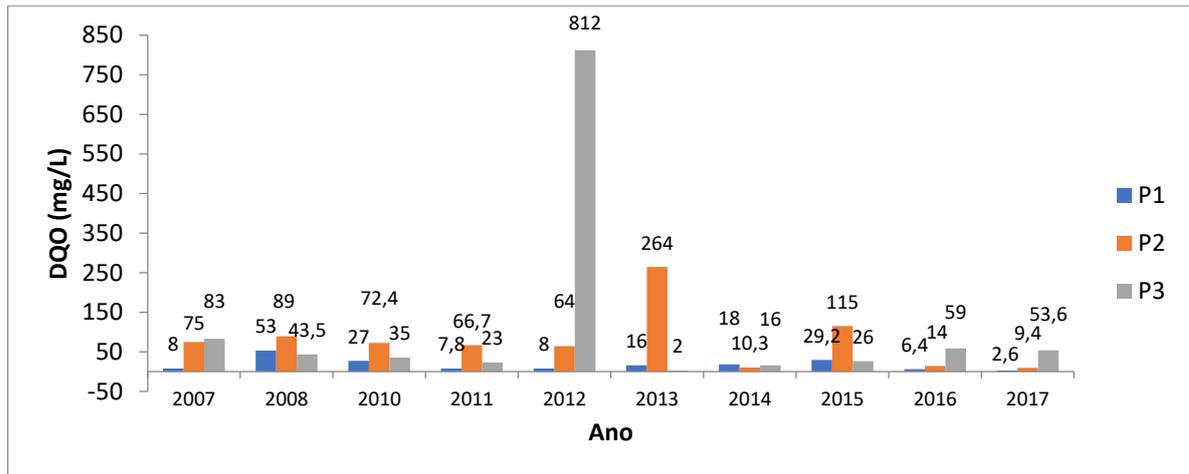


Figura 4 - Histórico dos resultados das análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO) encontrados na água dos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3) do Arroio Estância Velha, no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

O resultado de coliformes termotolerantes, obtido para o ponto 1 do Arroio Estância Velha ($7,0 \times 10^3$ NMP/100mL), teve o valor mais próximo no do ano de 2011 ($2,4 \times 10^3$ NMP/100mL). Enquanto que os resultados de coliformes termotolerantes do ponto 2 do histórico (figura 5), nos anos de 2007 (4×10^4 NMP/100mL), 2012 ($3,3 \times 10^4$ NMP/100mL), 2014 ($4,3 \times 10^4$ NMP/100mL) e 2017 ($4,6 \times 10^4$ NMP/100mL) foram similares ao obtido nesse estudo para o mesmo ponto 2 ($5,4 \times 10^4$ NMP/100mL). Acerca do ponto 3, o resultado obtido ($3,1 \times 10^3$ NMP/100mL), somente foi maior que o de 2014 ($2,1 \times 10^2$ NMP/100mL).

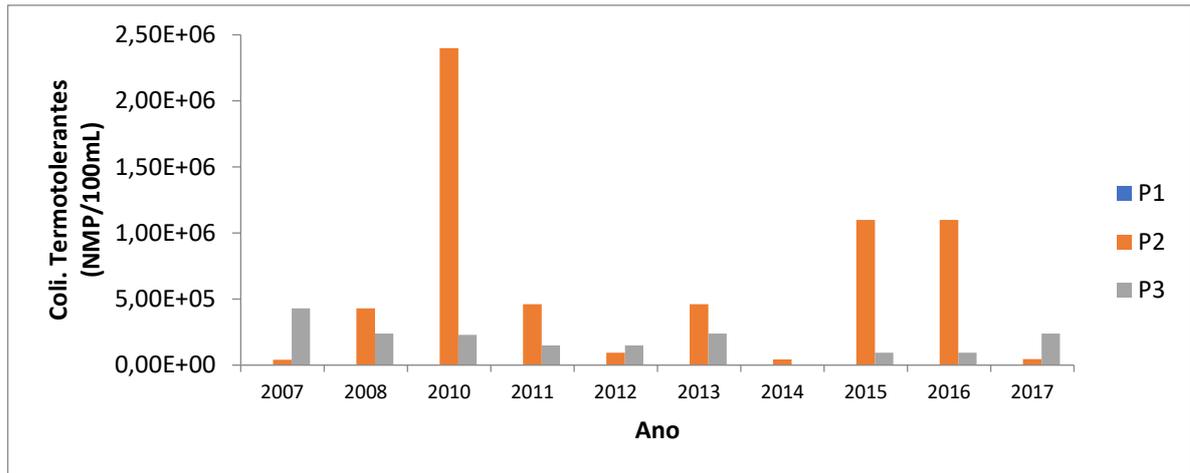


Figura 5 - Histórico dos resultados de análise de Coliformes Termotolerantes na água dos pontos 1 (P1), 2 (P2) e 3 (P3) do Arroio Estância Velha, no período de 2007 a 2017, excetuando-se o ano de 2009.

Fonte: Prefeitura de Estância Velha, 2018.

Quanto ao Índice da Qualidade de Águas (IQA), as classificações encontradas para cada ponto estão apresentadas na tabela 2 e foram calculadas a partir dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. As águas do arroio foram classificadas como ruim nos pontos 2 e 3, e aceitável no ponto 1 (nascente). Como um todo o Arroio Estância Velha classificou-se como ruim pelo IQA.

Tabela 2 - Índice da Qualidade de Águas (IQA) nos pontos 1, 2 e 3 amostrados do arroio Estância Velha.

Ponto	IQA	Classificação
Ponto 1	52	Aceitável (51-70)
Ponto 2	31	Ruim (26-50)
Ponto 3	39	Ruim (26-50)
Média Geral	41	Ruim (26-50)

Fonte: Autoria Própria, 2018.

4 DISCUSSÃO

No Brasil, a classificação e a qualidade das águas são determinadas conforme os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), na qual dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. A qualidade da água medida por tal resolução avalia um conjunto de condições e padrões necessários ao atendimento dos seus usos preponderantes, atuais ou futuros, determinando diversos parâmetros a serem observados, estabelecendo limites individuais para as substâncias que caracterizam as condições físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico. As águas classificadas como classe 1 são destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. As de classe 2 são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca. As de classe 3 são destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à pesca amadora, e as de classe 4 são águas que podem apenas ser destinadas apenas à navegação e à harmonia paisagística.

De uma forma geral, na maioria dos parâmetros físico-químicos analisados, tais como: Fluoreto, Nitrito, Nitrogênio total, Fósforo Total, Sulfato Total, pH, Sólidos totais, Turbidez, Cloretos, Bário Total, Berílio Total, Bismuto Total, Boro Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobalto Total, Cobre Total, Cromo Total, Lítio Total, Níquel Total, Vanádio Total e Zinco Total, as águas dos três pontos coletados no Arroio Estância Velha se enquadraram dentro da Classe 1 (BRASIL, 2005). Dentre os parâmetros físico-químicos que apresentaram valores em outras classes, os resultados de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos 1 ($2,6 \text{ mg.L}^{-1}$) e 2 ($5,0 \text{ mg.L}^{-1}$) se enquadraram nas classes 4 (superior a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$) e 3 (não inferior a $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$) respectivamente, e no ponto 3, na classe 2 (superior a $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$). Tais resultados demonstram que, no ponto 3, não houve uma menor concentração de OD, devido a maior concentração de poluentes provenientes dos efluentes industriais e domésticos da cidade. No caso do ponto 1 (nascente), o baixo teor de OD pode ser atribuído ao

fato de ser um ambiente mais lântico, situado em área rural com criação de animais, sendo que os seus dejetos podem se misturar com a água do local, elevando a matéria orgânica e conseqüentemente aumentando o consumo de oxigênio do meio. Enquanto que nos demais pontos (2 e 3), o escoamento e a fluidez no percurso do corpo hídrico podem ter colaborado para o aumento do OD. Todavia, no histórico das análises de OD entre 2007 e 2017 realizadas pela Prefeitura de Estância Velha, pode-se verificar que no ponto 1, o valor encontrado nesse estudo ($2,6 \text{ mg.L}^{-1}$), foi menor que todos os resultados encontrados nos últimos dez anos, principalmente em 2013 ($2,7 \text{ mg.L}^{-1}$), 2016 ($2,65 \text{ mg.L}^{-1}$) e 2017 ($2,63 \text{ mg.L}^{-1}$). Naime e Nascimento (2009) em análises das águas do arroio Pampa (Novo Hamburgo/RS) obtiveram resultados inferiores para a OD do que amostrado no ponto 1 (nascente) do presente estudo no arroio Estância Velha, com concentrações abaixo de $2 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ em pelo menos uma das coletas, deixando estas águas compatíveis com a condição “fora de classe” (BRASIL, 2005). Mitteregger-Junior et al. (2006) em sua avaliação sobre o Arroio Estância Velha, reporta que na nascente (ponto 1) a OD é $6,0 \text{ mg. L}^{-1}$, valor duas vezes maior que o desse trabalho. Com relação ao ponto 2, o resultado mais próximo ao desse trabalho ($5,0 \text{ mg. L}^{-1}$), foi encontrado em 2017 ($4,98 \text{ mg.L}^{-1}$) e, nos dois anos anteriores, ficaram próximos de 3 mg.L^{-1} . Enquanto no ponto 3 a OD foi maior ($6,3 \text{ mg. L}^{-1}$) entre os três locais e isso observou-se também no histórico das análises da Prefeitura de Estância Velha nos anos de 2007, 2010, 2011, 2015 e 2016, com 8,8, 6,6, 6,8, 8,6 e $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Além disso, de uma forma geral nos anos de 2013, 2016 e 2017 as concentrações de OD nos três pontos amostrados do arroio tiveram os menores valores encontrados (2013: P1- $2,7$, P2- $0,8$ e P3- $2,1 \text{ mg. L}^{-1}$; 2016: P1- $2,65$, P2- $2,89$ e P3- 3 mg. L^{-1} e 2017: P1- $2,63$, P2- $4,98$ e P3- $3,52 \text{ mg. L}^{-1}$). O OD é muito importante para indicar a qualidade ambiental de um recurso hídrico, pois grande parte da biota aquática depende do oxigênio para sua manutenção (HELLER; PÁDUA, 2010; BRASIL, 2014). Pavani (2009), em seus estudos acerca do Arroio Estância Velha, no período de maio de 2005 a junho de 2008, verificou que no ponto 1 os resultados para OD em 35,7 % das amostragens apresentaram valores superiores a 6 mg L^{-1} , ou seja, duas vezes maior que deste estudo ($2,7 \text{ mg L}^{-1}$). Enquanto no ponto 2, em 42,8% das amostragens os valores ficaram abaixo de 2 mg L^{-1} (inferior ao resultado desse trabalho de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$) e no ponto 3 apresentou em 50% das amostragens valores superiores a 4 mg L^{-1} , que ficou abaixo do registrado nesse estudo ($6,3 \text{ mg L}^{-1}$).

Os resultados que podem ser correlacionados ao OD são os de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), onde o primeiro indiretamente caracteriza a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio utilizada por microrganismos aeróbios e, o segundo é baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido e sob condições enérgicas, por ação de um agente químico oxidante forte (HELLER; PÁDUA, 2010; BRASIL, 2014). A DBO_5 da água coletada no ponto 1, ficou dentro do padrão para a Classe 1 (até $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$). O valor de DBO encontrado no ponto 1 desse estudo ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$) foi menor que todos os registrados pelo histórico da Prefeitura de Estância Velha. A DBO_5 encontrada no ponto 2 ($3,3 \text{ mg. L}^{-1}$), somente foi maior que o ano de 2017 (2 mg.L^{-1}) e atendeu ao requisito para águas de classe 2 (até 5 mg.L^{-1}) (BRASIL, 2005). No ponto 3, esse parâmetro apresentou um menor valor ($3,95 \text{ mg. L}^{-1}$) que os encontrados no histórico das análises realizadas pela Prefeitura de Estância Velha e seu resultado foi classificado como classe 2 (BRASIL, 2005). Macedo (2010) estudou a qualidade da água do Rio dos Sinos (receptor do Arroio Estância Velha) e encontrou a maioria dos valores de DBO_5 abaixo de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (superior ao desse estudo de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ no ponto 1) na nascente do manancial, que pode ser atribuído à preservação ambiental com reduzida ação antrópica na região. Além disso, assim como nesse estudo, o autor verificou que à medida que os pontos de amostragem se aproximavam da foz, a DBO_5 aumentava, acompanhando a maior urbanização e industrialização ao longo do rio e maior interferência antrópica (MACEDO, 2010).

A DQO não está incluída na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Este parâmetro é indispensável nos estudos de caracterização de partículas poluentes, oriundas principalmente de atividades humanas, caracterizando que o aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente, a despejos de origem industrial (NÓBREGA et al., 2013). Assim, comparando os resultados encontrados nesse estudo com os dos últimos dez anos de análise da Prefeitura de Estância Velha verifica-se que o ponto 1, nesse estudo, apresentou resultado menor ($3,03 \text{ mg. L}^{-1}$) que os demais pontos (ponto 2 com $58,72 \text{ mg. L}^{-1}$ e ponto 3 com $80,73 \text{ mg. L}^{-1}$), assim como no histórico desse local nos anos de 2007 (8 mg. L^{-1}), 2010 (27 mg. L^{-1}), 2011 ($7,8 \text{ mg. L}^{-1}$), 2012 (8 mg. L^{-1}), 2016 ($6,4 \text{ mg. L}^{-1}$) e 2017 ($2,6 \text{ mg. L}^{-1}$), conforme figura 4. Enquanto que a DQO do ponto 2 ($58,72 \text{ mg. L}^{-1}$) só foi maior que nos anos de 2014 ($10,3 \text{ mg.L}^{-1}$), 2016 (14 mg.L^{-1}) e 2017 ($9,4 \text{ mg.L}^{-1}$).

¹). No ponto 3, o parâmetro de DQO ($80,73 \text{ mg.L}^{-1}$) só foi menor que o registrado no ano de 2012 (812 mg.L^{-1}), que figurou como o maior valor entre todos os dados do histórico da Prefeitura de Estância Velha. Todavia, admitia-se a hipótese de que os maiores valores de DQO seriam encontrados no ponto 3, onde a concentração industrial é maior com as empresas do setor químico e de curtumes autorizadas a despejar seus efluentes tratados no Arroio Estância Velha podem ter potencial poluidor e de impacto ambiental, uma vez que, de acordo com Heller e Pádua (2010), o aumento da concentração da DQO num corpo de água indica principalmente os despejos de origem industrial, o que pode ocasionar diminuição do OD e prejudicar a biota aquática. Enquanto que no ponto 2, havia somente um curtume que seus efluentes poderiam influenciar a amostragem, mas o mesmo encerrou as atividades em 2014, o que pode ser observado pela diminuição nos valores de DQO nesse local a partir de 2015 (115 mg.L^{-1} em 2015, 14 mg.L^{-1} em 2016 e $9,4 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2017) (ESTÂNCIA VELHA, 2018). Comparando com os resultados de DQO obtidos por Pavani (2009) para o arroio Estância Velha entre 2005 e 2008, em que a média do ponto 1 era de 21 mg.L^{-1} , média do ponto 2 era de 175 mg.L^{-1} e do ponto 3 de 210 mg.L^{-1} , os valores de DQO desse estudo ficaram todos inferiores aos respectivos pontos: ponto 1 de $3,03 \text{ mg.L}^{-1}$, ponto 2 de $58,72 \text{ mg.L}^{-1}$ e ponto 3 de $80,73 \text{ mg.L}^{-1}$.

Dessa forma, os resultados desses dois parâmetros, DBO e DQO, indicam que o consumo de oxigênio no Arroio Estância Velha aumenta ao longo do percurso, sendo que na nascente, esse consumo é baixo (menor DBO_5 e DQO) e nos trechos posteriores os valores desses parâmetros são crescentes, evidenciando uma carga poluidora maior, podendo ser de origem doméstica, pois no município de Estância Velha o índice de esgoto sanitário tratado é de cerca de 0,5% (SNIS, 2015) e também, de origem industrial, pela maior concentração de indústrias de curtume a partir do ponto 2 (ESTÂNCIA VELHA, 2014). Atualmente, o município conta com apenas dez indústrias licenciadas para o despejo de efluentes no arroio que podem impactar o ponto 3, enquanto no ano de 2006 eram quarenta indústrias licenciadas, com três de potencial impacto no ponto 2 e o restante no ponto 3 (ESTÂNCIA VELHA, 2018). Além dessas, outras sete indústrias não tem autorização para liberação de seus efluentes no arroio (ESTÂNCIA VELHA, 2018).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011), é importante conhecer a densidade estimada de coliformes termotolerantes, pois é um indicativo do grau de contaminação de um corpo hídrico o que, por consequência, pode

representar riscos à saúde. O índice encontrado para o ponto 1 do Arroio Estância Velha ($7,0 \times 10^3$ NMP/100mL), foi maior que os valores do histórico das análises da Prefeitura de Estância Velha para o mesmo ponto, sendo o valor mais próximo o do ano de 2011 ($2,4 \times 10^3$ NMP/100mL). Enquanto que os resultados de coliformes termotolerantes do ponto 2 do histórico da Prefeitura, nos anos de 2007 (4×10^4 NMP/100mL), 2012 ($3,3 \times 10^4$ NMP/100mL), 2014 ($4,3 \times 10^4$ NMP/100mL) e 2017 ($4,6 \times 10^4$ NMP/100mL) foram similares ao obtido nesse estudo para o mesmo ponto 2 ($5,4 \times 10^4$ NMP/100mL). Os demais valores do histórico da Prefeitura para coliformes termotolerantes do ponto 2 ficaram todos maiores (2008 - $4,3 \times 10^5$, 2010 - $2,4 \times 10^6$, 2011 - $4,6 \times 10^5$, 2013 - $4,3 \times 10^5$, 2015 - $1,1 \times 10^6$ e 2016 - $1,1 \times 10^6$ NMP/100mL) e, no geral, esse local apresentou o índice mais elevado de coliformes que os demais pontos (1 e 3). Acerca do ponto 3, o resultado obtido ($3,1 \times 10^3$ NMP/100mL), somente foi maior que o de 2014 ($2,1 \times 10^2$ NMP/100mL). Assim, de uma forma geral, todos os pontos amostrados podem ser classificados como águas de Classe 4, ou seja, águas destinadas apenas à navegação e à harmonia paisagística (BRASIL, 2005), sendo o maior índice de coliformes termotolerantes encontrado no ponto 2 ($5,4 \times 10^4$ NMP/100mL). Além disso, estes valores encontrados para coliformes termotolerantes contribuíram para justificar a DBO_5 mais elevada nos pontos 2 e 3, ou seja, uma maior atividade microbiana aeróbia, que pode aumentar o consumo de oxigênio do meio, que se relaciona com a elevada quantidade de matéria orgânica proveniente da falta de tratamento do esgoto cloacal do município. No rio Parauapebas (Pará), as concentrações máximas foram de 1300 NMP/100 mL (SIQUEIRA et al., 2012), valores inferiores aos encontrados neste estudo para os pontos 1 e 3 ($7,0 \times 10^3$ NMP/100mL e $3,1 \times 10^3$ NMP/100mL, respectivamente). Pavani (2009), relatou para o Arroio Estância Velha, os seguintes valores máximos de coliformes termotolerantes: ponto 1 de 500, ponto 2 de $1,1 \times 10^7$ e ponto 3 de $2,1 \times 10^6$ NMP/100mL. Assim, comparando os resultados do autor com os desse trabalho, no ponto 1 foi registrado um valor de coliformes termotolerantes quatorze vezes maior e para os demais pontos desse estudo (2 e 3) foram menores.

Com relação aos halogenetos e demais ânions inorgânicos (Cloretos, Brometos, Fluoretos e Sulfatos), todos atenderam aos requisitos para águas de Classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Dentre as formas de nitrogênio, somente no ponto 2 foi registrada a presença de nitratos ($0,29 \text{ mg. L}^{-1}$). Os nitratos geralmente encontram-se em pequenas quantidades em águas superficiais e podem

atingir níveis maiores em águas subterrâneas (CETESB, 2009). Enquanto que as concentrações elevadas de nitrogênio orgânico e amoniacal indicam uma poluição recente, os níveis elevados de nitrato indicam uma poluição mais frequente (CETESB, 2009). Com relação aos compostos com fósforo, foi identificado fósforo total nos pontos 2 e 3, com os respectivos teores de 0,24 e 0,14 mg. L⁻¹ e, também fosfatos nesses locais (ponto 2 com 0,74 mg. L⁻¹ e ponto 3 com 0,43 mg. L⁻¹). O nitrogênio e o fósforo são nutrientes oriundos de carga orgânica e também podem corroborar para diminuição de oxigênio do meio, prejudicando, assim, o equilíbrio da biota aquática (HELLER; PÁDUA, 2010; BRASIL, 2014). Dessa forma, esses resultados para os nutrientes encontrados nos pontos 2 e 3 estão correlacionados com a maior DBO₅ calculada nas amostras desses locais, uma vez que são utilizados pelos microrganismos nos processos de degradação da matéria orgânica do meio (SIQUEIRA et. al, 2012; HELLER; PÁDUA, 2010) .

Os parâmetros de turbidez, cor, sólidos totais e pH, também indicam a qualidade da água, e podem afetar a concentração de oxigênio e, para tanto, em todos os pontos, estes parâmetros ficaram na Classe 1, excetuando-se a cor que ficou na Classe 4 (> 75 mg Pt.L⁻¹). A cor ocorre devido as substâncias dissolvidas como o ferro e o manganês total, que nos três pontos ficou na Classe 3. Na região onde está localizado o município de Estância Velha os solos são argissolos vermelho-amarelados, de textura arenosa (argilosa ou mediamente argilosa derivados de arenitos, formado principalmente por basalto com alto teor de ferro e magnésio e baixo teor de sílica (KREBS et al., 1994; MOTOKI et al., 2004; HEINE, 2008; MURADÁS et al., 2010). Os óxidos de ferro estão presentes em solos argilosos com colorações vermelho-amareladas e os óxidos de manganês, essencialmente em minerais. Assim, devido ao carreamento e a erosão das margens do manancial, essas concentrações podem ser aumentadas ocasionando também a mudança da coloração (MORUZZI; REALI, 2012; CORREA, 2008).

Os demais metais analisados atenderam aos requisitos para águas de Classe 1. No entanto, o teor de prata ficou enquadrado na Classe 4 (>0,05 mg. L⁻¹, BRASIL, 2005) em todos os pontos, inclusive na nascente (ponto 1). De acordo com Savazzi (2013) a prata não é muito abundante nas águas, ocorrendo em concentrações baixas (>5 µg.L⁻¹), pois muitos de seus sais são pouco solúveis, a não ser no caso da utilização como substância bactericida ou bacteriostática, ou ainda em processos industriais, como na fabricação de condutores, interruptores e catalisadores de

reações químicas. Por outro lado, a prata é classificada como um mineral de baixo potencial de risco a saúde humana, porém, é bioacumulativo e a intoxicação pela exposição crônica a compostos e misturas de prata causa argiria (SAVAZZI, 2013). O teor de alumínio ficou enquadrado na Classe 3 no ponto 2, e nos demais pontos (1 e 3) como Classe 1. Esse metal é abundante na crosta terrestre e em um corpo hídrico, sendo oriundo da atividade industrial ou de águas residuárias domésticas, que tenham sido potabilizadas com sulfato de alumínio (KASPARY et al., 2017). As concentrações elevadas amostradas no presente estudo podem também estar relacionadas ao solo da região rico em ferro e alumínio que de acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC, 2018), os argissolos vermelho-amarelados possuem esta coloração devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goetita. O município de Estância Velha é conhecido por ser um pólo da indústria coureiro-calçadista, que utiliza em seus processos de curtimento sais de cromo. Então, efluentes industriais despejados no arroio, poderiam ocasionar a presença de formas desse metal, o que de fato, não foi detectado nas amostras de água analisadas. Mitteregger-Junior et al. (2006) e Pavani (2009), em seus estudos acerca do Arroio Estância Velha, também não evidenciaram a presença de Cr VI. Porém, Pavani (2009) encontrou Cr (III) em pontos a partir da nascente, com máximo valor no mês de setembro de 2005 (1,8 mg. L⁻¹) (PAVANI, 2009).

Os parâmetros de dureza e condutividade não possuem limites estabelecidos na Resolução Conama 357/2005 (BRASIL, 2005). Para tanto, a critério de referência, o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 que estabelece os padrões de potabilidade em águas para consumo humano, estabelece que a dureza total deve ser menor de 500 mg. L⁻¹. A dureza apresentou resultados muito similares nos três pontos amostrados (ponto 1 de 54 mg. L⁻¹, ponto 2 de 58 mg. L⁻¹ e ponto 3 de 55 mg. L⁻¹), assim como os valores de cálcio total (ponto 1 de 13,3 mg. L⁻¹, ponto 2 de 15,3 mg. L⁻¹ e ponto 3 de 15,4 mg. L⁻¹) magnésio total (ponto 1 de 4,67 mg. L⁻¹, ponto 2 de 4,88 mg. L⁻¹ e ponto 3 de 4,25 mg. L⁻¹). A dureza se refere à concentração total de íons alcalino-terrosos na água, principalmente o cálcio (Ca²⁺) e o magnésio (Mg²⁺), cujas concentrações são muito superiores às dos demais íons alcalino-terrosos encontrados em águas naturais. Tal característica confere à água a dificuldade em dissolver sabão (fazer espuma) devido ao cálcio e magnésio (ABDALLA, 2009). Por último, a condutividade elétrica contribui para o reconhecimento de possíveis impactos ambientais, gerados por lançamentos de

efluentes indústrias, domésticos, entre outros (PEREIRA-SILVA et al., 2011). Isso se evidenciou nos resultados, à medida que o local amostrado era mais próximo da zona de urbanização e de industrialização (pontos 2 e 3), os valores de condutividade das amostras aumentaram: ponto 1 de 89,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ponto 2 de 135,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e ponto 3 de 161,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Isso indica a interferência antrópica impactando nas características e qualidade da água ao longo do percurso do arroio.

Acerca do Índice de Qualidade das Águas (IQA), o mesmo foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation*. A partir de 1975 começou a ser utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país. O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Todavia, o IQA não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como as substâncias tóxicas (por ex., metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2018). A qualidade do Arroio Estância Velha se classificou como ruim de modo geral, de acordo com o IQA avaliado nesse estudo. Os fatores que mais contribuíram negativamente no índice de cada ponto, foram o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e os valores de coliformes termotolerantes, sendo esse último, o que mais prejudica e diminui o IQA dos corpos hídricos (MORAGAS, 2005). Estes parâmetros podem ser associados à matéria orgânica oriunda do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento, como é o caso do Arroio Estância Velha em que 99,5% do esgoto doméstico e industrial não são tratados (BRASIL, 2015). Kemerich et al. (2012) e Molina et al. (2006), em seus estudos sobre IQA nos respectivos Arroio Esperança (Santa Maria/RS) e Água na Bomba (Regente Feijó/SP) encontraram resultados semelhantes, mostrando que diferentes mananciais apresentam a qualidade alterada, em consequência da ação antrópica.

5 CONCLUSÃO

Portanto, verificou-se que dos trinta e um parâmetros avaliados nesse estudo e previstos na Resolução Conama nº 357/2005 (BRASIL, 2005), 74% atenderam aos requisitos para as águas do Arroio Estância Velha serem classificados como Classe 1, águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. Todavia, alguns que são consequência do baixo índice de tratamento de esgotos no município como oxigênio dissolvido, DBO e Coliformes Termotolerantes, foram enquadrados em outras classes, como discutido anteriormente. Os altos índices de coliformes termotolerantes encontrados nos três pontos, são explicados pelo baixo percentual de tratamento de esgotamento sanitário do município de Estância Velha, aproximadamente 0,5% (BRASIL, 2015). O Índice de Qualidade das Águas obtido classificou o Arroio Estância Velha como ruim e os parâmetros que mais contribuíram para esse resultado foram o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e, principalmente, os coliformes termotolerantes. Assim, torna-se necessário o planejamento e aplicação de ações para minimizar os impactos ambientais apontados e assim recuperar a qualidade da água do arroio, especialmente quanto a coleta e o tratamento de esgoto sanitário, que se mostrou como a principal fonte de poluição desse corpo hídrico, nesse estudo.

REFERENCIAS

ABDALLA, K. V. P. et al. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário-MA. In: **XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. Maranhão, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Panorama das águas: qualidade da água**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acesso em: 15 ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional – Sistema HIDRO**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/gestorpcd/gerarGrafico.aspx>> Acesso em: 16 mar. 2019.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html> . Acesso em: 20 jun. 2018.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: 2005.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em 13 mai. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. – Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de Setembro de 2017 – Anexo XX**. Brasília: Funasa, 2017. Disponível em: <http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html>. Acesso em: 15 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias de amostragem.** Apêndice A, Série Relatórios. Governo de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2009.

CORREA, M. M.; et. al.. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1017-1031, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a11v32n3>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de água.** São Carlos: LDIBE, 2008.

ESTÂNCIA VELHA. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental.** 2014. Disponível em <http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/EST%C3%82NCIA%20VELHA_PMSB_rev_0_pdf.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2017.

ESTÂNCIA VELHA. **Secretaria de Meio Ambiente e Preservação Ecológica.** Diagnóstico da qualidade ambiental do arroio. Estância Velha. 2018

HEINE, C. A.. **Análise de sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani em Ivoti – RS.** Tese (Doutorado em Geologia). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2008. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/2192>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L.. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte, MG: UFMG, 2010.

KASPARY, R. M.; et. al. Análise de metais em amostras água do rio da região de Ribeira de Iguape. **Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação**, v.1, n.1, p.453-457, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.unisanta.br/index.php/ENPG/article/view/1146>>. Acesso em: 13 out. 2017.

KEMERICH, P. D. da Cunha et al. Determinação do índice de Qualidade da água do arroio Esperança. **Revista Ciência e Natura.** Santa Maria: UFSM, 2012.

KREBS, A. S. J. et. al. **Uso recomendado do solo do Município de Estância Velha-RS.** Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre – PROTEGER. Porto Alegre, RS, 1994. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/8754>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

MITTEREGGER-JÚNIOR, H. et al. Avaliação das atividades tóxicas e mutagênicas da água e do sedimento do Arroio Estância Velha, região coureira-calçadista, utilizando *Allium cepa*. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology.** 2006

MOLINA, P. M et al. Índice De Qualidade De Água Na Microbacia Degradada Do Córrego Água Da Bomba – Município De Regente Feijó – Sp, In: XVI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2006 Goiânia. **Anais.** Goiânia-GO: 25 a 30 de julho de 2006.

MORAGAS, W. M. **Análise dos sistemas ambientais do alto rio Claro –Sudoeste de Goiás: contribuição ao planejamento e gestão.** 2005. 217 p. Tese (Doutorado em Geografia) –Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

MACEDO, J. C. **Qualidade das Águas do Rio do Sinos.** 2009. 181 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo-RS.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia de Tecnologia.** São Paulo: 2012.

MOTOKI, A.; et. al. Basalto da Serra Gaúcha e sua Relação com o Desenvolvimento Regional. **Anais** do 2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/congrest/Desen/Desen5.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

MURADÁS, K.; WOJAHN, D.; COELHO, O. G. W. Levantamento de dados geomorfológicos e hidrogeológicos para mapeamento de vulnerabilidade de contaminação do Aquífero Guarani nos municípios de Portão e Estância Velha/RS utilizando o método DRASTIC. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.5, n.3, 2010. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/928/92815711011/>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

NAIME, R.; NASCIMENTO, C. A. Monitoramento de pH, temperatura, OD, DBO e condições microbiológicas das águas do Arroio Pampa em Novo Hamburgo-RS. **Revista UNICiências**, v.13, n.1, p.107-134, 2009. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/uniciencias/article/view/899>>. Acesso em: 27 nov. 2018.

NÓBREGA, M. A. S. et. al. Impactos Ambientais Perceptíveis em Ecossistemas Urbanos e os Índices de Qualidade da Água. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde.** Campo Grande, Brasil: vol. 18, núm. 4, 2014, pp.195-203. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/260/26042166006.pdf>> Acesso em: 03 dez. 2018.

OLIVEIRA, J. et al. Genotoxicidade e Análises Físico-Químicas das águas do Rio dos Sinos (RS) usando *Allium cepa* e *Eichhornia crassipes* como bioindicadores. **Biochemistry and Biotechnology Reports.** v. 1, p. 15-22, 2012. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/bbr/article/view/13186>. Acesso em: 14 mai. 2017.

PAVANI, F.. **Arroio Estância Velha: contribuição doméstica e industrial a situação no período de 2005 a 2009 e o enquadramento segundo a resolução Conama 357/2005.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Química). Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS: 2009.

PEREIRA-SILVA, E. F. L. et al. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 371-381, jul./set. 2011.

RODRIGUES, S. C.; PRADO, I. M.M. **Agentes poluidores de Águas**. Revista Arquivos do MUDI. Maringá, v. 8, p 40-45, 2004. Disponível em <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20549/10785>>. Acesso em 14 mai. 2017.

SAVAZZI, E. A. **Sugestão de valores de referência de qualidade para os elementos químicos cobalto, estanho, fósforo, lítio, molibdênio, níquel, prata, tálio, titânio e vanádio em amostras de água subterrânea coletadas nos Aquíferos Bauru e Guarani, conforme Resolução CONAMA 369**. 2013. Tese (Doutorado em Toxicologia) - Universidade de São Paulo.

SIQUEIRA, G. W. et. al. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). **ACTA Amazônica**. v. 42(3): 413 – 422, 2012.

SHIKLOMANOV, I. S. **World Water Resources – A New Appraisal and Assessment for the 21 st Century**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO, p.7, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking water quality**. World Health Organization. Genebra: 2011. 564p. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf> Acesso em 16 mai. 2017.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os diversos recursos naturais a água é um dos mais importantes para a sobrevivência das espécies e para o desenvolvimento da sociedade. Todavia, a ação antrópica vem causando uma série de impactos que vieram a contaminar diversos mananciais em várias localidades, alterando sua qualidade. Os dois principais agentes poluidores dos corpos hídricos são os esgotos sanitários e os efluentes da atividade industrial que, se as normas e legislações vigentes fossem atendidas, não deveriam causar danos e nem alterar as características dos corpos hídricos receptores. No caso do Arroio Estância Velha, tem-se adicionalmente os poluentes oriundos de curtumes e indústrias afins, como o cromo hexavalente (Cr VI). Considerando isso, diagnosticar a qualidade de um corpo hídrico se faz necessário, pois possibilita identificar contaminantes e suas fontes, assim como propor medidas de atenuação desses impactos. Por outro lado, diversos estudos estão sendo desenvolvidos ao longo dos anos, com o intuito de buscar diminuir os potenciais contaminantes no meio ambiente. Uma alternativa que vem sendo aprimorada é a biodegradação, que se caracteriza pela utilização de diferentes microrganismos para degradar ou diminuir a presença de diferentes substâncias poluentes. No caso de contaminantes metálicos, um processo utilizado é o de biorredução, que consiste na utilização de métodos biológicos para reduzir o estado de oxidação de metal, tornando-o assim, mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente. Na literatura, diversos microrganismos que apresentam boa capacidade de biorredução de cromo VI são citados, tais como: *Bacillus methylotrophicus*, *Pseudomonas* spp, *Micrococcus luteus*, *Acinetobacter* sp., entre outras.

No Capítulo I, com a temática de biorredução de Cr (VI) através de microrganismos isolados do sedimento do Arroio Estância Velha, os resultados obtidos mostraram que todos os quatorze isolados bacterianos obtidos de nove diferentes espécies, apresentaram capacidade de biorreduzir o Cr (VI) até mesmo na concentração contendo a maior quantidade do poluente (500 mg Cr (VI).L⁻¹). O gênero identificado como *Acinetobacter*, de uma forma geral, foi o que se apresentou como mais eficiente nos meios com diferentes concentrações (2, 250 e 500 mg Cr (VI).L⁻¹). Além disso, os gêneros e espécies dos isolados bacterianos obtidos e identificados neste trabalho já tinham o seu potencial biorredutor de Cr (VI) relatado por outros

autores. Desta forma, acredita-se que o uso de microrganismos para biorredução de poluentes de toxicidade ambiental elevada como o Cr (VI), é uma metodologia eficiente para o uso em áreas contaminadas.

Com relação ao estudo da qualidade ambiental da água do Capítulo II, foi verificado que a maioria dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados em três pontos das águas amostradas do Arroio Estância Velha puderam ser classificadas como Classe 1 (BRASIL, 2005). Por outro lado, os altos índices de coliformes termotolerantes registrados nos três pontos demonstraram o baixo índice (0,5%) de tratamento de esgotos sanitários no município de Estância Velha (BRASIL, 2015), ocasiona prejuízos à qualidade desse manancial. Adicionalmente, o cálculo do Índice de Qualidade das Águas obtido classificou o Arroio Estância Velha como ruim e os parâmetros que mais contribuíram negativamente para esse resultado foram o oxigênio dissolvido, a demanda bioquímica de oxigênio e, principalmente, os valores altos de coliformes termotolerantes. Com isso, torna-se necessário o planejamento e aplicação de ações para minimizar os impactos ambientais apontados e recuperar a qualidade da água do arroio, especialmente no que diz respeito à coleta e tratamento de esgotamento sanitário, já que esse se mostrou como a principal fonte de poluição desse corpo hídrico, nesse estudo.

Portanto, pode-se afirmar que o diagnóstico da qualidade de um manancial é de grande relevância, especialmente na identificação de contaminantes que estejam impactando negativamente esse meio ambiente, como foi o caso de diversos parâmetros avaliados neste estudo. Além disso, essa pesquisa possibilitou propor uma alternativa bem promissora: a biorredução com o uso de microrganismos capazes de reduzir até metade do Cr (VI) do meio, podendo ser considerado sua utilização para remediação de áreas contaminadas.

REFERÊNCIAS

- ACKERLEY, D.F; et al. Effect of chromate stress on *Escherichia coli* K-12. **J. Bacteriol.** 188: 3371-3381. 2006
- AVUDAINAYAGAM, S. et al. Chemistry of chromium in soils with emphasis on tannery waste sites. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, vol. 178, pp. 53–91, 2003.
- BABULA, P. et al. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. **Environmental Chemistry Letters**, vol. 6, no. 4, pp. 189–213, 2008.
- BECQUER, T. et al. "Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia," *Science of the Total Environment*, vol. 301, no. 1–3, pp. 251– 261, 2003.
- BIZANI, D.; SPAGIARI, M. S. Avaliação da cinética de comportamento e capacidade de redução de cromo por linhagens bacterianas padrão. **Ciência e Natura**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Brasil vol. 38, núm. 2, pp. 648-655, maio-agosto, 2016.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>> Acesso em 13 mai. 2017.
- CHIRWA, E.M.N.; MOLOKWANE, P.E. Biological Cr (VI) reduction: microbial diversity, kinetics and biotechnological solutions to pollution. In: **Biodiversity**. InTech, Cambridge. 2011. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/biodiversity/biologicalcr-vi-reduction-microbialdiversity-kinetics-and-biotechnological-solutions-to-pollution>.
- CONCEIÇÃO, D.; et al. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.37, n.6, p.1661-1667, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/ccrrevista/>. Acesso em: 16 mai. 2017.
- CORTEZ, H. **Aquecimento Global e Água**. 1. ed., 2004. Disponível em: <<http://www.ipcp.org.br/References/Agua/aguaCiclo/AquecimentoGlobal.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2017.
- DAS, S. et. al. Investigation on mechanism of Cr (VI) reduction and removal by *Bacillus amyloliquefaciens*, a novel chromate tolerant bacterium isolated from chromite mine soil. **Chemosphere**. Vol. 96, p 112-121, February 2014.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de água**. São Carlos: LDIBE, 2008.

ESTÂNCIA VELHA. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental**. 2014. Disponível em < http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/EST%C3%82NCIA%20VELHA_PMSB_rev_0_pdf.pdf. > Acesso em: 13 mai. 2017.

ESSAHALE, A. et al. Hexavalent Chromium Reduction and Accumulation by *Acinetobacter* AB1 Isolated from Fez Tanneries in Morocco. **Indian Journal Microbiology**. vol. 52,1:48-53, 2011.

GODECKE, M. V.; et al. Resíduos de curtumes: estudo das tendências de pesquisa. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v(7), nº 7, p. 1357-1378, 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/5779/3600>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

GUPTA, A. K.; et al. Bioremediation of tannery chromium: A microbial approach. **Research J. Pharm. and Tech**. 7(1): January 2014.

HAWLEY, E. L. et al.; Treatment Technologies for chromium (VI) In: Guertin J, Jacobs JA, Avakian CP, editors. **Chromium (VI) handbook**. Boca Raton: CRC Press; p. 273–308, 2004.

HU, J. et al. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. **Journal of Cleaner Production. China**. p. 221 – 228. 2010, Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222654358_Ecological_utilization_of_leather_tannery_waste_with_circular_economy_model. Acesso em: 17 mai. 2017.

JOUTEY, N. T.; et. al. Mechanisms of Hexavalent Chromium Resistance and Removal by Microorganisms. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. Vol. 233. 2015.

LLOYD, Jonathan R. Microbial reduction of metals and radionuclides. **FEMS Microbiology Reviews**. 27 411- 425. 2003.

MÄDLER, S., et al. Trace-Level Analysis of Hexavalent Chromium in Lake Sediment Samples Using Ion Chromatography Tandem Mass Spectrometry. **Journal of Environmental Protection**, 7, 422-434. 2016.

MANDAL B.K. et al. Speciation of Chromium in Soil and Sludge in the Surrounding Tannery Region, Ranipet, Tamil Nadu. **ISRN Toxicology**. 2011.

MITTEREGGER-JÚNIOR, H. et al. Avaliação das atividades tóxicas e mutagênicas da água e do sedimento do Arroio Estância Velha, região coureira-calçadista, utilizando *Allium cepa*. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology**. v.1, p.147-151, 2006. Disponível em: < <http://institutossenai.org.br/public/files/avaliacao-das-atividades-toxicas-e-mutagenicas-da-agua-e-do.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

MOLOKWANE, P. E. et al., Chromium (VI) reduction in activated sludge bacteria exposed to high chromium loading. **Water Research**. Brits culture. South Africa, 2008.

MWINYIHIJA, M. Essentials of ecotoxicology in the tanning industry. **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**. Vol. 3(13), pp. 323-331, 2011. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/JECE/article-abstract/E5BDF8C2174>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

NETTO, J. M.; RICHTER, C. A. **Tratamento de água - tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1991.

OLIVEIRA, H. Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. **Journal of Botany**. 8p. 2012.

OLIVEIRA, J. P. W.; SANTOS, R. N.; PIBERNAT, C. C.; BOEIRA, J. M. Genotoxicidade e Análises Físico-Químicas das águas do Rio dos Sinos (RS) usando *Allium cepa* e *Eichhornia crassipes* como bioindicadores. **Biochemistry and Biotechnology Reports**. v. 1, n. 1, p. 15-22, 2012. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/bbr/article/view/13186>>. Acesso em 14 mai. 2017.

PADILHA, T.M.; et al. Isolamento de linhagens bacterianas degradadoras de hidrocarbonetos BTEX proveniente do setor petroquímico. **Scientia Plena**. V. 13, N. 09, 2017.

PAL, A. Hexavalent Chromium Reduction by Immobilized Cells of *Bacillus sphaericus* AND 303. **Brazilian archives of biology and technology**. Vol.56, n.3: pp. 505-512, May-June, 2013.

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. **Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes Impactados**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v(6), nº 6, p. 975 – 1006, 2012.

PINTO, E.; et al. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. **J. Phycol.** v. 39, p. 1008-1018, 2003.

RAHATGAONKAR, A. M.; MAHORE, N. R. A Selective Bioreduction of Toxic Heavy Metal Ions from Aquatic Environment by *Saccharomyces cerevisiae*. **E-Journal of chemistry**. Vol. 5, No.4, pp. 918-923, 2008.

RAMIREZ-DIAZ, M.I.; et al. Mechanisms of bacterial resistance to chromium compounds. **Biometals**. 21:321–332, 2008.

REHMAN, F.; FAISAL, M. Toxic hexavalent chromium reduction by *Bacillus pumilis*, *Cellulosimicrobium cellulans* and *Exiguobacterium*. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**. Vol 33, Issue 3, p 585–589, May, 2015.

RODRIGUES, S. C.; PRADO, I. M.M. **Agentes poluidores de Águas**. Revista Arquivos do MUDI. Maringá, v. 8, p 40-45, 2004. Disponível em <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20549/10785>>. Acesso em 14 mai. 2017.

ROMANENKO V.I.; KOREN'KOV, V.N. A pure culture of bacteria utilizing chromates and bichromates as hydrogen acceptors in growth under anaerobic conditions. **Mikrobiologiya**. 43:414–417, 1977.

SANDANA MALA, J. G. et. al. Inducible chromate reductase exhibiting extracellular activity in *Bacillus methylotrophicus* for chromium bioremediation. **Microbiological Research**. V. 170, p. 235-241, January 2015,

SIMÕES, M. L. G.; TAU-K-TORNISIELO, S. M. Comparação da técnica tradicional e do método turbidimétrico automatizado no cultivo de diferentes fontes de carbono de fungos filamentosos isolados de solo de área de caatinga. **HOLOS Environ**. 94, v.5, n.2, 2005.

THACKER, U. et al. Hexavalent chromium reduction by *Providencia* sp. **Process Biochem**. 41:1332–1337, 2006.

TANG, S. C. N.; YIN, K.; LO, I. Column study of Cr (VI) removal by cationic hydrogel for in - situ remediation of contaminated groundwater and soil. **Journal of Contaminant Hydrology**. v. 125, n. 1, p. 39-46, 2011.

VENKATRAMREDDY, V. et al. Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Freshwater Fish: A Critical Review. **Rev Environ Health**. 24(2): 129–145, Apr–Jun, 2009.

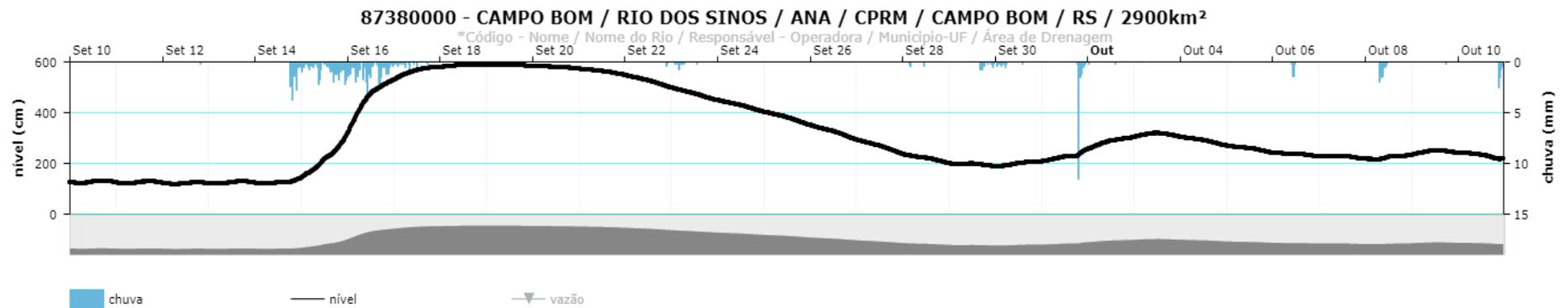
WANI, P. A.; OGUNBIYI H. A. Bioreduction of Cr (VI) by Heavy Metal Resistant *Pseudomonas* Species. **Journal of Environmental Science and Technology**, 8: 122-130, 2015.

WANI, P. A. et al. Cr (VI) Reduction by Indigenous *Bacillus* Species PB5 Isolated from Contaminated Soil of Abeokuta Ogun State, Nigeria. **International Journal of Soil Science**. 10 (4): 203-210, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking water quality**. World Health Organization. Geneva: 2011. 564p. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf> Acesso em 16 mai. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality 2004** Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/chromium.pdf> Acesso em 16 mai. 2017.

ANEXO A – Índice pluviométrico na Estação mais próxima do Arroio Estancia Velha



ANEXO B - Monitoramento Analítico do Arroio Estância Velha – Água
Realizado pelo Município de Estância Velha

MONITORAMENTO DO ARROIO ESTÂNCIA VELHA											
RESULTADOS OBTIDOS NO ANO DE 2007											
IQA DA ÁGUA											
ENSAIOS	CONSEMA	Arroio (classe 3) ¹	Nascente	SENAI	Forum	Centro	B. Rosas	Após Centro	Final	Portão ³	
Data da Coleta			junho-07								
1 - DQO(mgO ₂ /L)	-	-	8	82	8	75	16	39	83	39	
2 - DBO(mgO ₂ /L)	-	10	4	10	5	60	10	25	40	20	
3 - pH	6,0 - 9,0	6,0 – 9,0	7,3	7,99	7,22	7,33	7,52	7,4	7,53	7,07	
4 - Sólidos Totais (mL/L)	-	-	197	4511	223	303	204	398	493	418	
5 - Sól. Susp. totais(mg/L)	-	-	-	47,8	-	-	-	-	-	-	
6- Nitrogênio Total (mg/L)	10 ⁽⁵⁾	-	1,52	16,3	2,88	11,9	2,28	9,73	10,8	10,3	
7- Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	20	Ver item 2 abaixo	0,2	9,53	1,83	7,82	1,39	5,79	9,55	9,24	
8 - Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 30	Ausente	16,4	2,75	14,4	14,3	23	14	2,78	24,7	
9 - Cromo total(mg/L)	0,5	0,05	<0,05	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	
10 - Cromo hexavalente(mg/L)	0,1	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
11- Níquel total (mg/L)	1,0	0,025	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	
12-Chumbo total (mg/L)	0,2	0,033	0,01	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	
13- Bário Total (mg/L)	5,0	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	
14 - Temperatura Amostra (°C)	< 40	-	16,5	19	19	20	17	18	18	18	
15 - Fenóis(mg/L)	0,1	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	
16 - Mercúrio(µg/L)	0,01	0,002	<0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	
17 - Oxigênio Dissolvido(mg/L)	-	>4	8,5	10,9	8,15	6,6	8,2	8	8,8	9,2	
18-Sulfeto (mg/L)	0,2	0,3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
19 - Surfactantes (mg/L)	-	-	0,09	0,41	0,16	1,25	0,09	0,48	0,23	0,16	
20- Cor (µH)	s/ cor	75 mg Pt/L	2	2	2	1	2	1	2,0	1,0	
21- Turbidez (NTU)	-	100	0,10	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	
22-Dureza (mgCaCo ₃ /L)	-	-	70	240	120	130	90	220	200	100	
23- Nitrato (mg/l)	-	10,0	0,42	0,39	0,36	0,33	0,39	0,3	0,33	0,29	
24- Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	-	-	0,16	0,19	0,12	0,4	0,24	0,37	0,17	0,2	
25- Cloretos (mg/L)	-	250	3,43	1423	17,1	30,8	17,1	54,8	106	75,4	
26- Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	Até 3X10 ³ ⁽⁵⁾	≤ 2,5X10 ³	≥ 2400	43	4300	40000	110000	40000	430000	230000	

¹ Limites máximos conforme o CONAMA 357/2005
² 3,7 para pH ≤ 7,5 ; 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 ; 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5 ; 0,5 para pH > 8,5
³ Ponto alterado para próximo a Gelita do Brasil
⁴ Limites Máximos conforme CONSEMA 128/06
⁵ Conforme Vazão

2008

IQA DA ÁGUA	ARROIO ESTÂNCIAVELHA																	ARROIO CASCALHO			ARROIO PORTÃO		
	CONSEMA ⁴	Arroio (classe 3) ¹	Ponto I	Ponto II	Ponto IV	Ponto V	Ponto VI	Ponto VII	Ponto VIII	Ponto IX	Ponto X	Ponto XI	Ponto XII	Ponto XIII	Ponto XIV	Ponto XV	Ponto XVI	Ponto XVII					
ENSAIOS																							
Data da Coleta			setembro-08																				
1 - DQO(mgO2/L)	-	-	53	65	48,5	89,0	52,0	39,1	41,0	43,5	28,9	54,0	30,4	33,7	26,1	50,0	46,3	42,1					
2 - DBO(mgO2/L)	-	10	5	4	4,0	30,0	10,0	8,0	14,0	12,0	10,0	6,0	4,0	15,0	15,0	5,0	10,0	10,0					
3- Sólidos Totais (mL/L)	-	-	99	213	161	189	195	161	439	248	195	370	141	173	169	221	268	284					
4 - pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,66	7,32	7,19	7,08	7,26	6,82	6,98	6,85	6,87	6,87	7,01	6,76	6,85	6,96	7,02	6,91					
5 - Sól. Susp. totais(mg/L)	-	-																					
6- Nitrogênio Total (mg/L)	10 ⁽⁶⁾	-	1,25	4,62	3,05	8,28	6,54	6,1	6,25	5	7,7	7,31	2,66	3,27	3,08	7,02	6,54	6,16					
7- Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ²	20	Ver item 2 abaixo	< 0,5	0,96	1,66	1,53	4,88	4,78	4,53	3,60	4,58	6,01	2,32	2,07	1,48	3,94	3,84	3,4					
8-Dureza (mgCaCO ₃ /L)	-	-	42	104	66	62	64	62	80	58	50	48	26	40	26	56	52	54					
9-Sulfeto (mg/L)	0,2	0,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05					
10 - Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 30	Ausente	2,78	3,27	0,75	2,79	2,16	0,64	0,8	1	1,03	34,8	17,1	28,5	16,5	22,3	28,9	24,2					
11 - Fenóis(mg/L)	0,1	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,01	0,007	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005					
12- Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	-	-	0,66	0,39	0,24	0,64	0,43	0,28	0,26	0,21	0,24	0,18	0,28	0,19	0,17	0,26	0,22	0,23					
13 - Surfactantes (mg/L)	-	-	< 0,08	0,21	0,88	< 0,08	0,45	0,17	< 0,08	0,12	0,17	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,09	0,12	< 0,08	0,26					
14- Cor (µH)	s/cor	75 mg Pt/L	211	147	239	113	147	136	228	173	201	173	169	241	227	225	219	254					
15- Turbidez (NTU)	-	100	24,5	25,6	14,8	12	13,3	14,5	12,1	12,6	12,5	14	8,1	14,2	15,1	12	14,4	15,3					
16- Nitrato (mg)	-	10,0	0,545	< 0,25	0,904	0,744	1	0,866	2,52	0,665	1,18	1,2	1,24	1,04	0,798	0,741	0,441	1,9					
17 - Cromo hexavalente(mg/L)	0,1	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01					
18 - Cromo total(mg/L)	0,5	0,05	< 0,05	0,14	< 0,05	0,06	0,05	0,1	0,08	0,07	0,06	0,06	< 0,05	0,07	< 0,05	0,05	0,06	0,05					
19- Bário Total (mg/L)	5,0	1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0					
20-Chumbo total (mg/L)	0,2	0,033	< 0,002	0,012	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002					
21- Níquel total (mg/L)	1,0	0,025	< 0,25	< 0,25	0,47	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25					
22 - Mercúrio total(µg/L)	0,01	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001					
23 - Oxigênio Dissolvido(mg/L)	-	>4	9,55	8,35	9,1	4,5	7,23	8,16	7,69	7,83	7,4	7,3	7,54	8,06	8,22	8,7	8,39	9,86					
24 - Temperatura Amostra (°C)	< 40	-	14,0	17,5	14,7	18,2	16,1	15,0	15,7	15,8	18,0	18,0	14,9	14,8	14,7	18,0	18,0	18,0					
25- Cloretos (mg/L)	-	250	16,3	38,7	14,3	32,6	34,6	49,7	65,2	58,7	56,3	62,8	24,5	44	33,4	46,5	47,3	79,1					
26- Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	Até 3X10 ³ (5)	≤ 2,5X10 ³	430	4300	75000	≥ 1500000	150000	93000	43000	240000	43000	93000	9300	4300	≤ 2100	9300	4300	24000					

2010

IQA DA ÁGUA			ARROIO ESTÂNCIA VELHA								
	CONSEMA ⁴	Arroio (classe 3) ¹	Ponto I	Ponto II	Ponto IV set/10	Ponto V	Ponto VI	Ponto VII	Ponto VIII set/10	Ponto IX	Ponto X
ENSAIOS											
Data da Coleta											
Cloretos (mg/L)	-	250	4,9	34,8	36,8	9,0	38,2	29,9	17,4	99,4	61,9
Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	A ⁽⁵⁾	≤ 2,5X10 ³	≤ 23	2300	2400000	9300	430000	4600000	240000	430000	230000
Cromo hexavalente(mg/L)	0,1	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo total(mg/L)	0,5	0,05	< 0,05	0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
DBO(mgO2/L)	-	10	4	26		6	10	10	8	10	8
DQO(mgO2/L)	-	-	27,0	30,0	72,4	30,0	30,0	22,9	30,0	46,0	35,0
Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	-	-	0,02	0,36	0,68	0,28	0,34	0,31	0,20	0,16	0,16
Nitrato (mg/l)	-	10,0	1,02	0,61	0,99	2,36	2,23	2,80	2,13	0,98	0,15
Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ²	20	Ver item 2 abaixo	< 5,0	< 5,0	7,74	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	7,62	5,76
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) ⁽⁵⁾		-	< 5,0	< 5,0	13,00	< 5,0	< 5,0	6,31	5,04	10,90	9,41
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 30	Ausente	< 10,0	< 10,0	< 10,0	12,00	22,90	< 10,0	16,90	< 10,0	16,30
Oxigênio Dissolvido(mg/L)	-	>4	4,80	6,00	1,30	6,50	5,75	5,80	6,30	6,30	6,63
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,5	7,4	7,4	7,3	7,5	7,4	7,4	7,5	7,4
Sólidos Totais (mL/L)	-	-	158	236	300	154	164	202	175	352	258
Surfactantes (mg/L)	-	-	< 0,08	< 0,08	0,53	< 0,08	0,39	0,16	0,09	0,10	0,10
Temperatura Amostra (°C)	< 40	-	18,0	21,0	19,9	16,7	18,4	17,6	18,0	18,2	17,9
Turbidez (NTU)	-	< 100	44,70	22,10	21,80	22,30	22,90	21,50	21,80	25,70	22,90

2011

AGOSTO/2011	ARROIO ESTÂNCIA VELHA										
ENSAIOS	Ponto I – Nascente	Ponto II – Fórum	Ponto IV - Floresta	Ponto V - Centro	Ponto VI –B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Após lançar	Ponto IX – Lira	Ponto X - Bairro das C	Ponto XI - Campo Gran	Ponto XII - Campo Grand
Data da Coleta: 03/08/2011	ago/11					ago/11					
Chumbo Total (mg/L)	0,001	0,009	0,0008	0,0010	0,0020	0,0030	0,0008	0,0007	0,0006	0,0008	0,0006
Cloretos (mg/L)	0,99	50,4	6,9	37,0	6,9	29,6	22,7	35,6	28,6	27,6	20,7
Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	2400	24000	240000	460000	15000	240000	75000	240000	93000	150000	150000
Cobre Total (mg/L)	0,01	0,02	< 0,01	0,05	0,12	0,08	0,08	0,09	0,02	0,02	0,02
Cromo Hexavalente (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo Total (mg/L)	< 0,01	0,02	< 0,01	0,06	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Cromo Solúvel (mg/L)	< 0,01	0,02	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DBO(mgO2/L)	2,0	4,0	6,0	28,0	2,0	10,0	8,0	4,0	8,0	4,0	4,0
DQO(mgO2/L)	7,8	20,0	24,0	66,7	16,0	31,0	27,0	23,0	19,0	16,0	23,0
Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	0,19	0,19	0,19	0,33	0,34	0,22	0,26	0,15	0,15	0,17	0,17
Fosforo Total (mg/)	0,14	0,27	0,28	0,54	0,24	0,31	0,29	0,21	0,28	0,27	0,36
Fenóis (mg/)	0,01	0,02	0,01	0,02	< 0,009	0,02	0,01	< 0,009	< 0,009	0,01	0,02
Níquel Total (mg/)	0,003	0,001	0,002	0,003	0,030	0,030	0,020	0,030	0,020	0,020	0,010
Nitrato (mg/)	0,79	0,91	0,05	1,84	2,40	2,04	2,36	1,60	1,80	1,09	0,94
Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ²	< 5,0	< 5,0	< 5,0	6,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Nitrogênio Total (mg/L)	< 5,0	5,20	< 5,0	11,80	< 5,0	7,60	< 5,0	6,70	7,10	< 5,0	< 5,0
Óleos e Graxas (mg/L)	< 10,0	< 10,0	< 10,0	26,80	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	13,00	< 10,0	< 10,0
Oxigênio Dissolvido(mg/L)	5,45	5,71	6,12	3,70	7,04	6,17	6,30	6,34	6,27	6,53	6,80
pH	7,3	7,2	7,2	7,2	7,2	7,4	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Sólidos Totais (mg/L)	647	620	370	590	590	740	480	530	690	350	310
Surfactantes (mg/L)	< 0,08	0,11	0,24	0,84	0,11	0,28	0,31	0,31	0,28	0,19	0,24
Temperatura Amostra (°C)	12,7	17,7	14,6	16,6	14,4	15,1	14,2	14,8	14,0	15,9	14,6
Turbidez (NTU)	57,60	11,40	35,30	27,20	28,20	26,70	26,80	26,70	32,50	26,00	28,30
Zinco Total (mg/L)	0,02	0,03	0,01	0,03	0,10	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02
Toxicidade <i>Pimephales promela</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Toxicidade <i>Ceriodaphnia dubia</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Ausência	Ausência	Ausência
Toxicidade <i>Pseudokirchneriella</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Ausência	Ausência	Ausência
Toxicidade Sedimento <i>Hyalella</i>	Detectada	Detectada			Detectada	Ausência	Detectada	Ausência	Ausência	Ausência	Detectada

2012

ABRIL/2011	EFLUENTES			ÁGUA											
	CONSEMA 128/06	CONAMA 430/11	CONAMA 357/05	Ponto I	Ponto II	Ponto III	Ponto IV	Ponto V	Ponto VI	Ponto VII	Ponto VIII	Ponto IX	Ponto X	Ponto XI	Ponto XII
Data da Coleta :28/03/2012				mai/12								mar/12			
Amônio (mg/L)				< 1,94	< 1,94	8,65	12,50	< 1,94	2,98	3,15	2,72	30,70	31,80	31,30	26,40
Chumbo Total (mg/L)	0,2	0,5	0,01	0,002	0,0003	0,001	< 0,0005	0,005	0,002	0,0005	0,0009	0,0008	0,0009	0,0006	0,0005
Cianeto (mg/L)				< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloretos (mg/L)			250	6,8	56,6	17,5	34,5	11,4	38,1	156,5	202,0	337,6	351,8	526,5	414,0
Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	A ⁽³⁾	-	<1000	930	4300	43000	460000	93000	43000	93000	9300	2400000	240000	150000	93000
Cobre Total (mg/L)	0,5	-	-	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01
Cromo Hexavalente (mg/L)	0,1	0,1	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo Total (mg/L)	0,5	-	0,05	< 0,01	0,03	< 0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,13	0,20	0,20
Cromo Solúvel (mg/L)	-	-	-	< 0,01	0,02	< 0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05	0,12	0,18	0,18
DBO(mgO2/L)	A ⁽³⁾	-	< 5,0	6	8	10	82	10	16	24	84	2	46	> 80,0	96
DQO(mgO2/L)	A ⁽³⁾	-	-	8	12	36	144	64	40	60	224	56	88	812	220
Fluoreto (mg/L)				0,16	0,12	0,24	0,61	0,21	0,28	0,30	0,30	0,24	0,25	0,27	0,26
Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	-	-	-	< 0,32	< 0,32	< 0,32	0,69	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
Fosforo Total (mg/l)	2,0	-	< 0,030	0,03	0,37	0,61	1,75	0,38	0,29	0,50	0,52	0,53	0,64	0,67	0,62
Fenóis (mg/l)	-	0,5	-	0,07	0,02	0,06	0,10	0,01	< 0,01	0,01	0,14	0,03	0,08	0,06	0,04
Lítio (mg/L)				< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Níquel Total (mg/l)	-	2,0	0,025	0,001	0,0018	0,0008	0,0010	0,003	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Nitrato (mg/l)	-	-	10,0	< 0,11	0,91	< 0,11	< 0,11	0,62	0,78	5,22	< 0,11	0,66	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Nitrato (mg/l)				< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	0,15	0,46	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ²	20	-	Ver item 2 abaixo	< 5,00	< 5,00	8,7	13,2	< 5,00	6,34	8,7	8,13	33,20	36,30	42,10	27,40
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	A ⁽³⁾	-	-	< 5,00	5,07	14,1	23,8	6,56	8,35	13,5	21,3	39,8	47,0	50,6	44,30
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 30	A ⁽⁴⁾	Ausente	11,40	36,70	< 10,0	13,00	10,20	14,00	< 10,0	13,20	< 10,0	10,20	11,70	10,80
Oxigênio Dissolvido(mg/L)															
pH	6,0 - 9,0	5,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,8	7,0	7,3	7,2	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7	7,6	7,6	7,2
Sólidos Totais (mg/L)	-	-	-	46	278	104	264	966	4394	546	828	868	1080	1290	1122
Sulfato (mg/L)				2	31	12,2	25,2	12,3	68,1	178,0	161,7	328,2	331	388	324
Sulfeto (mg/L)				0,008	0,004	0,01	0,01	0,003	< 0,001	0,004	0,004	0,003	0,010	0,009	0,009
Surfactantes (mg/L)	-	-	-	< 0,08	0,11	0,78	0,38	< 0,08	0,13	0,68	0,92	0,86	0,72	0,21	0,62
Temperatura Amostra (°C)	< 40	< 40	-	21,0	19,0	19,0	22,0	20,0	18,0	19,0	20,0	20,0	20,0	19,0	19,0
Turbidez (NTU)	-	-	< 100	15,6	20,6	56,0	23,3	94,0	11,7	10,3	13,0	9,9	17,9	57,0	14,4
Znco Total (mg/L)	2,0	5,0	0,18	0,06	0,05	0,02	0,04	0,02	0,11	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02
Condutividade (µs/cm)	-	-	-	200	480	360	467	220	531	1089	980	1680	1780	2560	2100
Toxicidade <i>Pimephales promelas</i> (peixes)			Ausência	Toxicidade Crônica	Ausência				Toxicidade Crônica	Ausência	Toxicidade Crônica	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda
Toxicidade <i>Ceriodaphnia dubia</i> (microcrustáceo)			Ausência	Ausência	Ausência				Toxicidade Aguda	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda
Toxicidade <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (algas)			Ausência	Ausência	Ausência				Ausência	Toxicidade Crônica					
Toxicidade Sedimento <i>Hyalella azteca</i> (microcrustáceo)			Ausência	Detectada	Ausência				Detectada	Detectada	Detectada	Detectada	Detectada	Ausência	Detectada

2013

Data da Coleta : 28/10/2013		ÁGUA											
ENSAIOS	CONAMA 357/05 ¹	Ponto I - Nascente	Ponto II - Fórum	Ponto III - Floresta	Ponto IV - Centro	ARROIO ESTÂNCIA VELHA							
						Ponto V - Ant. B. Rosas	Ponto VI - B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Foz Bain.	Ponto IX - Lira	Ponto X - B. Quintas	Ponto XI - C. Grande I	Ponto XII - C. Grande II
Chumbo Total (mg/L)	0,01	0,001	0,0010	< 0,0005	0,003	0,001	< 0,0005	< 0,0005	0,0006	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Cianeto (mg/L)	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,39	0,11	< 0,005	0,02	< 0,005	0,03	0,03
Cloretos (mg/L)	250	6,6	71,7	17,6	51,0	15,0	23,5	77,0	16,8	36,9	100,0	213,0	158,0
Coliformes Fecais (NPMorg/100ml)	<1000	430	23000	43000	460000	24000	93000	93000	43000	43000	43000	240000	93000
Cobre Total (mg/L)	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	2,10	0,13	0,02	0,02	0,03	0,06	0,05
Cromo Hexavalente (mg/L)	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo Total (mg/L)	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	0,12	0,15
Cromo Solúvel (mg/L)	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,11	0,13
DBO(mgO2/L)	< 5,0	4,0	6,0	6,0	100,0	6,0	4,0	6,0	4,0	8,0	8,0	20	14
DQO(mgO2/L)	-	16,0	20,0	24,0	264,0	8,0	16,0	40,0	28,0	35,0	32,0	67	78
Fluoreto (mg/L)	1,4	0,18	0,19	0,27	0,32	0,34	0,37	0,38	0,23	0,28	0,33	0,33	0,26
Fosfato (mg/l de PO ₄ em P)	-	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33	< 0,33
Fosforo Total (mg)	< 0,020	< 0,02	0,60	0,70	1,84	0,26	< 0,02	0,45	< 0,02	0,39	0,34	0,29	0,48
Fenóis (mg)	0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,02	< 0,003	< 0,003	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,01	0,02
Lítio (mg/L)	2,5	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Níquel Total (mg)	0,025	0,004	0,0030	0,0010	0,0040	0,0006	1,10	0,640	0,040	0,030	0,040	0,060	0,040
Nitrato (mg)	10,0	0,31	0,85	0,55	< 0,11	2,19	1,91	4,95	0,60	2,15	0,82	1,09	0,86
Nitrito (mg)	1,0	< 0,15	< 0,15	0,23	< 0,15	0,19	0,21	0,35	< 0,15	0,16	0,51	1,55	1,05
Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ²	Ver item 2 abaixo	< 3,70	< 3,70	7,89	12,2	< 3,70	< 3,70	5,49	< 3,70	4,08	7,72	14,0	11,0
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	-	< 5,00	< 5,00	10,5	18,1	< 5,00	< 5,00	9,34	5,07	6,00	9,97	17,2	14,7
Óleos e Graxas (mg/L)	Ausente	< 10,0	< 10,0	< 10,0	< 10,0	20,00	< 10,0	< 10,0	19,40	33,60	11,40	14,80	50,00
Oxigênio Dissolvido(mg/L)	>5	2,70	3,00	2,00	0,75	2,90	3,26	2,23	3,40	2,28	2,27	2,21	2,40
pH	6,0 – 9,0	7,5	7,2	7,3	7,2	7,4	7,4	7,4	7,1	7,3	7,3	7,4	7,3
Sólidos Totais (mg/L)	-	67,0	256	114	360	129	252	417	122	269	374	667	550
Sulfato (mg/L)	250	7,20	29,9	9,8	43,0	11,9	37,2	97,5	15,7	57,0	93,7	225	164
Sulfeto (mg/L)	0,002	< 0,001	0,003	0,004	0,09	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,008	0,006	0,002
Substâncias Tensioativas (mgMBAS/L)	0,5	< 0,08	0,15	0,17	1,34	0,11	< 0,08	0,20	< 0,08	0,20	0,42	0,53	0,21
Temperatura Amostra (°C)	-	20,7	21,5	21,3	23,2	20,4	20,4	22,0	21,1	21,90	21,8	21,5	21,9
Turbidez (NTU)	< 100	23,5	14,2	7,65	35,2	6,89	8,70	10,3	12,5	10,50	9,4	11,0	12,3
Zinco Total (mg/L)	0,18	< 0,005	0,02	0,008	0,03	< 0,005	0,17	0,03	< 0,005	0,01	0,01	0,01	0,01
Condutividade (µs/cm)	-	146,00	436	267	327	223	317	690	245	433	692	1213	920
Toxicidade <i>Pimephales promelas</i> (peixes)	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito				Toxicidade Aguda	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Toxicidade Crônica	Nenhum Efeito
Toxicidade <i>Ceriodaphnia dubia</i> (microcrustáceo)	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito				Toxicidade Aguda	Toxicidade Aguda	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Nenhum Efeito	Toxicidade Crônica	Nenhum Efeito
Toxicidade <i>Pseudokirchneriella subcaptata</i> (alga)	Nenhum Efeito	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica				Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Nenhum Efeito	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica	Toxicidade Crônica
Toxicidade Sedimento <i>Hyalella azteca</i> (microc	Não Detectada	Detectada	Não Detectada				Não Detectada	Detectada	Detectada	Detectada	Detectada	Não Detectada	Não Detectada

2015

Data da Coleta : 02/09/2015	Limites CONAMA 357/05 ¹			ARROIO ESTÂNCIA VELHA											
ENSAIOS	Classe 1	Classe 3	Classe 4	Ponto I - Nascente	Ponto II - Fórum	Ponto III - Floresta	Ponto IV - Centro	Ponto V - Ant. B. Rosas	Ponto VI - B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Foz Baln.	Ponto IX - Lira	Ponto X - B. Quintas	Ponto XI - C. Grande	Ponto XII - C. Grande II
1 - Cloretos	250	250	-	4,23	81	12,5	20,2	9,24	44,2	62,2	4,95	49,6	46,4	89,3	45,5
2 - Cromo total	0,05	0,05	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,03	0,09	0,07
3 - Cromo hexavalente	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4 - Demanda bioquímica de oxigênio	3,0	< 5,0	-	2,0	8,0	6,0	36,0	4,0	46,0	22,0	4,0	8,0	14,0	12,0	8,0
5 - Demanda química de oxigênio	-	-	-	29,2	23,0	25,0	115,0	19,0	85,0	45,0	8,7	37,0	40,0	26,0	27,0
6 - Fosfato	-	-	-	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
7 - Fluoreto	1,4	1,4	-	<0,10	<0,10	0,13	0,3	0,13	0,14	0,18	<0,10	0,14	0,15	0,15	0,13
8 - Nitrato	10,0	10,0	-	0,36	0,78	0,85	0,72	2,08	1,52	2,25	0,88	2,31	1,62	4,50	2,15
9 - Nitrito	1,0	1,0	-	< 0,15	< 0,15	0,2	< 0,15	< 0,15	<0,15	<0,15	< 0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
10 - Sulfato	250	250	-	4,5	57	7,12	12,4	8,14	81,3	93,8	3,09	51,3	48,2	107	58,4
11 - Nitrogênio amoniacal	Ver item 2 abaixo	Ver item 2 abaixo	-	<2,00	3,34	5,5	7,8	<2,00	4,12	5,5	<2,00	5,34	6,95	8,2	4,6
12 - Nitrogênio total kjeldahl	-	-	-	-	5,6	11,4	14,2	4,3	10,7	11,8	<2,00	16,2	10,2	12	7,9
13 - Óleos e graxas totais	Ausente	Ausente	Tolerada Irrescência	<10,0	10,7	<10,0	16,6	11	<10,0	11,3	16	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
14 - pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,3	7,0	7,3	7,3	7,4	7,4	7,4	7,5	7,4	7,2	7,4	7,1
15 - Sólidos totais	-	-	-	82	354	128	154	116	444	522	180	314	310	464	306
16 - Substâncias tensoativas que reag	0,5	0,5	-	<0,08	0,23	0,09	0,23	0,1	0,32	0,88	0,18	0,26	<0,08	0,22	0,17
17 - Temperatura	-	-	-	19,2	18,2	17,4	20,2	17,5	16,6	18,6	16,6	17,6	17,9	17,5	17,5
18 - Turbidez	40	< 100	-	18,4	24,8	11,8	28,4	6,7	8,4	11,7	25,6	12,9	13,5	13,1	13,8
19 - Fósforo total	0,02	< 0,020	-	<0,025	<0,025	0,45	0,97	0,1	0,18	0,37	<0,025	0,17	0,19	0,20	0,21
20 - Fenóis	0,003	0,003	1	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
21 - Chumbo total	0,01	0,01	<0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	< 0,002	< 0,002
22 - Cobre total	-	-	-	0,004	0,003	0,003	0,006	<0,002	0,01	0,007	0,003	0,004	0,007	0,006	0,003
23 - Níquel total	0,025	0,025	-	<0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	0,06	0,020	<0,002	0,01	0,01	0,01	0,006
24 - Zinco total	0,18	0,18	-	0,03	0,02	0,01	0,02	0,007	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
25 - Cromo solúvel	-	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,03	0,08	0,05
26 - Sulfeto	0,002	0,002	-	<0,001	<0,001	0,005	0,007	1,5	0,005	0,007	<0,001	9,72	0,003	0,01	0,002
27 - Cianeto	0,005	0,005	-	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
28 - Lítio	2,5	2,5	-	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
29 - Oxigênio dissolvido	>6	>5	>2	7,5	8,8	6,9	3,5	10,1	3,94	3,9	10,8	6,41	6,7	8,6	8,6
30 - Benzeno	0,005	0,005	0,0	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
31 - Tolueno	0,002	0,002	-	0,002	0,002	<0,001	0,002	0,002	<0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,001
32 - Xileno	0,3	0,3	-	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
33 - Etilbenzeno	0,09	0,09	-	0,001	0,001	<0,001	< 0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001
34 - Condutividade	-	-	-	139	599	233	319	195	681	704	137	488	488	744	516
35 - Coliformes Termotolerantes	200	<1000	-	210	43	240000	1100000	240000	46000	9300	15000	150000	43000	93000	240000
36 - Biodegradabilidade (calculado)	-	-	-	6,85%	34,78%	24,00%	31,30%	21,05%	54,12%	48,89%	45,98%	21,62%	35,00%	46,15%	29,63%

2016

ARROIO ESTÂNCIA VELHA												
ENSAIOS	Ponto I - Nascente	Ponto II - Fórum	Ponto III - Floresta	Ponto IV - Centro	Ponto V - Ant. B. Rosas	Ponto VI - B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Foz Baln.	Ponto IX - Lira	Ponto X - B. Quintas	Ponto XI - C. Grande I	Ponto XII - C. Grande II
1 - Cloretos	0,19	80	15,6	18,4	8,1	11,7	26,6	4,9	33,8	24,5	19,7	18,7
2 - Cromo total	0,02	0,008	0,006	0,007	0,006	0,007	0,01	0,01	0,01	0,009	0,006	0,02
3 - Cromo hexavalente	< 0,01	<0,01	<0,01	< 0,01	<0,01	<0,01	<0,01	< 0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4 - Demanda bioquímica de oxigênio	4	6	6	14	2	4	6	2	6	8	6	8
5 - Demanda química de oxigênio	6,4	36,4	48	19,5	40,6	22,9	56,8	26	85,4	66	59	70,8
6 - Fosfato	< 0,10	<0,33	<0,33	0,3	<0,33	<0,33	<0,10	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33
7 - Fluoreto	<0,10	<0,10	<0,10	0,19	0,12	0,15	0,15	0,08	0,11	0,11	0,12	0,11
8 - Nitrato	<0,11	0,302	0,47	0,48	1,4	2,19	1,01	2,75	0,6	0,62	0,84	0,69
9 - Nitrito	<0,15	< 0,15	<0,15	0,11	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,15	<0,15	<0,15
10 - Sulfato	0,14	48,4	17,4	15,3	8,5	28	52,2	3,8	47	31	37,4	25,8
11 - Nitrogênio amoniacal	< 2,00	< 5,00	3,42	3,75	< 2,00	<2,00	4,69	<2,00	4,92	2,09	1,76	2,32
12- Nitrogênio total kjeldahl	< 2,00	2,76	5,63	7,84	1,88	2,76	4,86	<2,00	6,19	5,08	4,86	3,03
13 - Óleos e graxas totais	< 10,00	12	< 10,00	6,41	10,31	10,8	0,75	<10,00	4,93	2,78	6	10,6
14 - pH	7,45	7,1	7,3	7,31	7,1	7,2	7,2	7,47	7,3	7,4	6,6	7,1
15 - Sólidos totais	132	324	56	132	124	112	186	310	68	74	238	1870
16 - Substâncias tensoativas que rea	0,42	0,52	0,4	1,88	0,45	0,52	0,49	0,52	0,43	0,44	0,36	0,49
17 - Temperatura	17,8	18	17,5	19,6	17,5	17,6	17,8	18,5	17,8	18,2	18,2	18,5
18 - Turbidez	64,1	21,6	30,6	24,7	29,4	27,1	26,1	25,9	25,5	25,5	24,03	25,2
19 - Fósforo total	0,062	0,074	0,34	0,47	0,12	0,13	0,27	0,47	0,2	<0,025	0,008	0,01
20 - Fenóis	0,013	0,01	0,02	0,016	0,02	0,02	0,02	0,022	0,02	0,02	0,03	0,02
21 - Chumbo total	<0,0025	0,005	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,003	0,003	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
22 - Cobre total	0,004	<0,0025	0,004	0,005	0,003	0,005	0,24	0,24	0,004	0,005	<0,0025	0,003
23 - Níquel total	<0,0025	0,0043	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,18	0,18	0,004	0,004	0,003	0,004
24 - Zinco total	0,01	0,03	0,02	0,02	0,008	0,02	0,15	0,15	0,01	0,02	0,01	0,02
25 - Cromo solúvel	<0,0025	0,006	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,005	0,005	0,003	0,006	0,005	0,008
26 - Sulfeto	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,55	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
27 - Cianeto	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,15	0,10	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
28 - Lítio	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025
29 - Oxigênio dissolvido	4,01	2,65	3,6	2,89	4,33	4,5	4,1	4,2	4,5	4,4	3	3
30 - Condutividade	180	570	292	255	160	197	309	1113	351	307	2,92	231
31- Coliformes Termotolerantes	2400	930	110000	1100000	24000	9300	93000	4300	240000	15000	93000	150000
32-Biodegradabilidade (calculado)	62,50%	16,48%	12,50%	71,79%	4,93%	17,47%	10,56%	7,69%	7,03%	12,12%	10,17%	11,30%

2017

Data da Coleta : 23/08/2017	ARROIO ESTÂNCIA VELHA											
ENSAIOS	Ponto I - Nascente	Ponto IV - Floresta	Ponto VIII - Partner	Ponto XII - Anterior Bairro das Rosas	Ponto XIII - Seta	Ponto XVII - Foz Arroio Balneário	Ponto XIX - Lira	Ponto XXIII - Bairro das Quintas	Ponto XXV - Campo Grande I	Ponto XXIX - Campo Grande II	Ponto XXXIII - Após Utrasa	Ponto XXXIV - Lago Azul (NOVO)
1 - Cloretos	5,14	12,5	244	5,8	15,6	12,1	39,8	13,2	31,2	23,4	17,2	9,86
2 - Cromo total	<0,002	<0,002	0,015	0,003	<0,002	<0,002	0,007	0,024	0,039	0,032	<0,002	<0,002
3 - Cromo hexavalente	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
4 - Demanda bioquímica de oxigênio	1	5	10	2	2	2	7	5	7	8	5	8
5 - Demanda química de oxigênio	2,6	19	57,5	9,4	6	14	28	17	53,6	56,2	26	59,6
6 - Fosfato	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33	<0,33
7 - Fluoreto	0,14	0,14	0,26	0,17	0,22	0,13	0,13	0,22	0,16	0,16	0,11	0,13
8 - Nitrato	0,38	1	0,16	3,06	2,71	1,24	1,12	2,71	1,14	1,02	1,9	1,39
9 - Nitrito	<0,15	<0,15	3,72	<0,15	<0,15	<0,15	0,38	<0,15	0,32	0,22	<0,15	<0,15
10 - Sulfato	6,19	7,51	292	9,48	12,9	11	48,2	12,4	34,7	22,5	11,1	5,38
11 - Nitrogênio amoniacal	<0,50	5,37	5,37	<0,50	<0,50	<0,50	5,96	5,49	5,07	<0,20	<0,50	<0,50
12 - Nitrogênio total kjeldahl	<0,50	6,7	10,1	<0,50	<0,50	<0,50	10,7	7,2	5,5	5,09	<0,50	<0,50
13 - Óleos e graxas totais	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	12,4	<10,0	14,9	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
14 - pH	6,86	7,15	7,42	7,11	7,13	7,14	7,5	7,29	7,23	7,27	7,18	7,26
15 - Sólidos totais	70	85	1060	104	132	101	221	227	189	152	153	81
16 - Substâncias tensoativas	<0,08	<0,08	0,1	0,1	0,1	<0,08	<0,08	0,22	0,22	0,22	0,17	0,17
17 - Temperatura	14,4	15,2	16,1	14	15,7	16,2	16,3	16,2	15,2	16	16	23,3
18 - Turbidez	18,5	9,6	14,4	7,92	8,28	8,34	9,93	9,87	10,2	14,8	14,5	22,1
19 - Fósforo total	0,22	0,46	0,72	0,61	0,5	1,29	0,64	0,82	0,43	0,43	0,52	0,4
20 - Fenóis	<0,003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01
21 - Chumbo total	0,003	<0,002	<0,002	0,006	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
22 - Cobre total	0,007	0,007	0,007	0,011	0,008	0,008	0,01	0,01	0,009	0,01	0,007	0,012
23 - Níquel total	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	0,003	0,003	<0,002	<0,002	<0,002
24 - Zinco total	0,01	0,009	0,012	0,02	0,008	0,008	0,015	0,013	0,015	0,013	0,007	0,01
25 - Sulfeto	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,001	<0,001
26 - Cianeto	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,005	<0,005
27 - Lítio	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
28 - Oxigênio dissolvido	2,63	3,46	2,11	4,98	4,08	4,07	3,6	3,42	3,52	3,78	3,35	4,1
29 - Condutividade	150	200	300	250	280	240	450	480	400	330	190	160
30 - Coliformes Termotolerantes	1500	110000	110000	46000	240000	75000	240000	460000	240000	46000	4600	4600
31 - Biodegradabilidade (calculado)	36,84	14,00	162,50	5,56	8,12	10,48	11,61	8,12	14,04	15,69	5,79	9,35

ANEXO C - Monitoramento Analítico do Arroio Estância Velha – Sedimentos
Realizado pelo Município de Estância Velha

2007

RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DO SEDIMENTO DO ARROIO ESTÂNCIA VELHA							2007					
ENSAIOS	Nascente	Forum	B. Rosas	Após Centro	Final	Portão	Nascente	Forum	B. Rosas	Após Centro	Final	Portão
Data da Coleta	abril-07						junho-07					
01- Alumínio Total (mg/Kg)	11170	11990	21100	6190,0	5497	9381	2164	9058	21530	23783,0	11360	3739
02- Cádmio Total (mg/Kg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,03	0,01	0,03	0,06	0,01
03- Chumbo Total (mg/Kg)	2,92	4,51	6,75	2,30	19,2	8,74	0,91	17,6	8,88	5,55	31,5	3,83
04- Cobre Total (mg/Kg)	17,7	3,72	11	6,44	8,42	7,69	< 2,5	3,13	10,40	20,00	9,85	2,63
05- Zinco Total (mg/Kg)	18,60	15,30	31,60	20,80	42,70	11,80	2,95	42,80	22,00	36,80	32,80	15,90
06- Sulfeto (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
07- Fenóis (mg/Kg)	0,25	0,50	0,50	0,25	< 0,25	0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
08- Mercúrio Total (mg/Kg)	< 0,05	0,08	0,05	< 0,05	0,48	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,64	< 0,05
09- Bário total (mg/Kg)	< 50	< 25	75,20	< 50	< 50	< 25	< 50,0	< 50,0	< 50,0	66,50	55,10	< 50,0
10- Níquel Total (mg/Kg)	< 12,5	< 12,5	13,30	< 12,5	< 12,5	< 12,5	< 12,5	< 12,5	< 12,5	13,70	< 12,5	< 12,5
11- Matéria Volátil (%)	94,80	28,0	28,70	22,20	65,00	26,60	97,20	26,2	32,40	19,40	50,80	19,90
12- Benzeno (mg/Kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
13- Tolueno (mg/Kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
14- Xileno (mg/Kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
15- Matéria Orgânica (%)	1,77	5,48	2,03	1,32	1,95	0,90	1,64	0,83	1,11	0,86	5,58	0,42
16- Cromo VI (mg/Kg)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,42	0,98	1,28	29,40	1,30
17 Cromo III (mg/Kg)	2,75	3475	17,7	57,0	98,4	35,4	< 0,001	32,2	10,7	42,9	2145	36,1

2008

ENSAIOS	ARROIO ESTÂNCIA VELHA								ARROIO CASCALHO			
	Ponto I - Nascente	Ponto II - Forru	Ponto IV - B. Ro	Ponto VI - Após Cen	Ponto VII - Lira	Ponto VIII - Campo Gra	IX - Campo Gra	X - Estância/P	Ponto XI - Japon	Ponto XII - Antes Utr	Ponto XIII - Após Utr	Ponto XIV - Foz Cascalh
Data da Coleta	setembro-08											
01- Alumínio Total (mg/Kg)	8981	908	3461	939	1704	623	2227	1079	2245	959	1271	5507
02- Cádmio Total (mg/Kg)	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
03- Chumbo Total (mg/Kg)	0,5	2,30	0,64	0,36	0,5	0,16	0,48	0,22	0,26	0,28	0,42	2,08
04- Cobre Total (mg/Kg)	17,6	4,68	84,8	13,9	18	7,11	8,29	4,59	<2,5	6,29	6,72	8,73
05- Zinco Total (mg/Kg)	15,2	34	97,2	19,3	38,8	22,6	16,40	12,10	9,75	10,8	9,62	23,8
06- Sulfeto (mg/L)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
07- Fenóis (mg/Kg)	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	0,42	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
08- Mercúrio Total (mg/Kg)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
09- Bário total (mg/Kg)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
10- Níquel Total (mg/Kg)	17,8	13,6	47,6	19,2	26,2	19,6	19,1	22,1	19,4	19,2	20,1	20,1
11- Matéria Volátil (%)	47,5	26	22,9	21,2	14,4	20,6	21	16,9	23,5	18,8	23,1	27,6
12- Benzeno (mg/Kg)												
13- Tolueno (mg/Kg)												
14- Xileno (mg/Kg)												
15- Matéria Orgânica Total (%)	29,2	37,4	26	22,1	14,2	24,8	21,4	22,3	27,6	13,5	32,2	45,6
16- Cromo VI (mg/Kg)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
17 Cromo III (mg/Kg)	5,28	142	18,6	19,3	46,2	43,6	237	29	10,1	<0,002	22,7	282

2009

julho-09	Alumínio mg/Kg	Cádmio mg/Kg	Chumbo mg/Kg	Cobre mg/Kg	Cromo III mg/Kg	Cromo VI * mg/Kg	M. O %	Mercurio mg/Kg	Níquel mg/Kg	Umidade %	Zinco mg/Kg
Ponto I – Nascente	12721	0,02	0,7	32,2	10,2	< 0,01	2,7	< 0,05	20,2	74,5	27,5
Ponto II – Fórum	2142	0,02	1,5	6,5	40,2	< 0,01	0,4	< 0,05	12,3	30,4	79,3
Ponto V –B. Rosas	10300	< 0,01	0,9	42,4	9,5	< 0,01	1,3	< 0,05	45,5	35,9	58,5
Ponto VI - Após Centro	3534	0,03	0,5	27,8	45,5	< 0,01	0,8	< 0,05	19,1	21,3	24,2
Ponto VII - Após lançamento	402	< 0,01	< 0,10	16,8	15,5	< 0,01	0,3	< 0,05	12,4	19,3	18,5
Ponto VIII – Lira	1178	0,01	0,2	17,8	33,5	< 0,01	0,5	< 0,05	18,1	19,8	20,4
Ponto IX - Campo Grande I	4261	0,04	3,3	18,9	1135,0	1526,0	6,7	0,8	25,6	67,9	37,3
Ponto X - Campo Grande II	17072	0,01	1,1	11,1	13,3	< 0,01	2,5	< 0,05	17,2	27,6	17,7
Ponto XI - Estância/Portão	4304	0,21	0,7	42,3	195,0	< 0,01	0,3	< 0,05	19,9	26,0	37,2
Ponto XII – Japonês	4396	0,02	0,4	6,8	31,2	< 0,01	1,0	< 0,05	11,0	31,1	12,1
Ponto XIII - Antes Utresa	2055	< 0,01	0,2	1,9	0,1	< 0,01	0,4	< 0,05	14,3	24,8	5,1
Ponto XIV - Após Utresa	2666	0,01	0,5	14,5	16,8	< 0,01	1,5	< 0,05	12,6	34,0	10,6
Ponto XV - Foz do Arroio Cascalho											
Ponto XVI - Arroio Portão, apd	7168	0,39	1,2	81,9	310,0	< 0,01	1,8	< 0,05	25,9	43,0	95,0
Ponto XVII - RS 240	6410	0,48	1,0	117,0	320,0	58,0	4,2	0,3	25,5	68,8	86,4
Ponto XVIII – Kraft	1466	0,02	0,46	5,68	4,86	27,0	7,49	< 0,05	16,4	25,1	14,8

2010

setembro-10	Alumínio mg/Kg	Cádmio mg/Kg	Chumbo mg/Kg	Cobre mg/Kg	Cromo III mg/Kg	Cromo VI mg/Kg	Cromo Total mg/Kg	M. O %	Mercurio mg/Kg	Níquel mg/Kg	Umidade %	Zinco mg/Kg
Ponto I	20470	0,02	0,67	10,10	40,00	< 0,003	40,00	0,93	< 0,05	< 25,0	28,90	13,10
Ponto II	924	0,02	0,91	5,15	163,00	<0,003	163,00	0,57	<0,05	<25,0	22,60	41,00
Ponto V	924	0,02	0,90	16,30	<25,0	<0,003	<25,0	1,60	<0,05	25,10	27,60	54,30
Ponto VI	10870	0,02	3,61	11,80	503,00	<0,003	503,00	1,91	0,12	25,10	33,40	20,20
Ponto VII	11620	0,02	4,35	16,50	207,00	51,10	258,00	2,23	0,12	< 25,0	39,70	52,80
Ponto VIII	11670	0,02	1,89	11,20	163,00	<0,003	163,00	2,74	0,07	<25,0	35,90	17,60
Ponto IX	3032	<0,01	0,25	6,72	32,20	<0,003	32,20	0,45	<0,05	<25,0	25,20	18,30
Ponto X	1683	0,03	0,15	7,02	35,20	<0,003	35,20	0,32	<0,05	<25,0	22,50	20,80
Ponto XI	6165	0,02	0,76	9,07	64,80	< 0,003	64,80	2,55	< 0,05	< 25,0	27,30	31,30
Ponto XII	20270	0,06	6,95	11,40	359,00	413,00	772,00	3,71	0,22	< 25,0	41,90	26,40
Ponto XIII	13500	0,04	2,17	5,22	16,60	<0,03	16,60	1,23	<0,05	<25,0	38,00	15,20
Ponto XIV	2420	0,04	0,66	3,25	20,50	<0,003	20,50	0,83	<0,05	<25,0	29,10	3,51
Ponto XV*												

2011

Data da Coleta: 04/10/2011	Toxicidade Hyalella azteca	Alumínio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo III	Cromo VI	Cromo Total	M. O	Mercúrio	Níquel	Umidade	Zinco
Data da Coleta: 05/10/2011	(microcrustáceo)	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg	mg/Kg	%	mg/Kg
Nascente	Não Detectada	4172,0	0,03	1,02	21,80	3,62	1,05	4,67	25,80	< 0,07	< 16,7	75,30	12,40
Fórum	Detectada (100% mortalidade)	585,0	0,02	1,80	7,14	27,20	3,07	30,20	0,47	0,92	< 16,7	16,60	24,80
B. Rosas	Detectada (50% mortalidade)	3520,0	0,03	0,85	78,60	12,50	1,98	14,50	8,50	< 0,07	60,10	48,10	190,00
Após Centro	Não Detectada	1648,0	0,07	3,35	14,80	772,00	1,32	773,00	4,73	0,12	< 16,7	51,30	25,60
Após lança Balneário	Detectada (100% mortalidade)	596,0	0,02	< 0,13	10,60	21,40	0,65	22,00	6,30	< 0,07	17,50	17,60	16,50
Lira	Não Detectada	522,0	< 0,01	< 0,13	8,62	20,20	3,10	23,30	0,34	< 0,07	17,20	17,30	10,60
Bairro das Quintas	Não Detectada	719,0	0,02	< 0,13	10,20	18,50	2,90	21,40	0,85	< 0,07	18,40	19,10	18,20
Campo Grande I	Não Detectada	789,0	0,02	0,22	9,95	69,00	2,78	71,80	0,938	< 0,07	19,10	21,40	18,10
Campo Grande II	Detectada (40% mortalidade)	970,0	0,02	0,14	7,88	48,50	0,35	48,90	0,41	< 0,07	< 16,7	22,00	8,87
Estância/Portão		543,0	< 0,01	< 0,13	6,62	17,80	2,95	20,80	0,41	< 0,07	< 16,7	15,50	5,00
Japonês		491,0	0,01	< 0,13	8,20	20,20	3,17	23,40	0,53	< 0,07	< 16,7	22,00	9,62
Antes Utresa *		1226,0	0,02	0,15	5,64	2,85	1,19	4,04	2,33	< 0,07	< 16,7	29,50	6,35
Após Utresa *		926,0	0,02	0,16	6,10	12,90	3,07	16,00	0,92	< 0,07	19,30	33,60	5,62

Data da Coleta :12/09/2012	Toxicidade Hyalella azteca (microcrustáceo)	Alumínio mg/Kg	Cádmio mg/Kg	Chumbo mg/Kg	Cobre* mg/Kg	Cromo III mg/Kg	Cromo VI mg/Kg	Cromo Total mg/Kg	M. O %	Merúrio* mg/Kg	Níquel* mg/Kg	Umidade %	Zinco mg/Kg
Nascente	Detectada (90% Mortalidade)	29475,0	< 0,04	< 0,4	148,60	89,30	< 0,32	89,30	0,48	< 0,20	< 50,0	78,70	67,30
Fórum	Não Detectada	1475,0	< 0,04	4,54	21,30	47,50	< 0,32	47,50	1,07	< 0,20	< 50,0	19,90	28,50
Antes B. Rosas		1656,0	< 0,04	1,92	< 10,0	20,20	< 0,32	20,20	0,59	< 0,20	< 50,0	17,40	7,62
B. Rosas	Detectada (35% Mortalidade)	1889,0	< 0,04	< 0,4	64,10	25,20	< 0,32	25,20	0,49	< 0,20	< 50,0	27,00	89,10
Após Centro	Não Detectada	1155,0	< 0,04	1,04	28,50	23,50	< 0,32	23,50	0,30	< 0,20	< 50,0	23,30	33,30
Após lançamento Balneário	Não Detectada	1832,0	< 0,04	1,32	28,60	28,30	< 0,32	28,30	0,28	< 0,20	< 50,0	25,80	23,70
Lira	Não Detectada	1265,0	< 0,04	1,14	24,70	52,20	< 0,32	52,20	1,09	< 0,20	< 50,0	21,10	27,60
Bairro das Quintas	Não Detectada	1688,0	< 0,04	< 0,4	19,70	107,00	< 0,32	107,00	0,42	< 0,20	< 50,0	25,80	14,00
Campo Grande I	Detectada (27,5% Mortalidade)	2015,0	< 0,04	2,17	23,40	114,00	< 0,32	114,00	1,16	< 0,20	< 50,0	34,30	31,10
Campo Grande II	Detectada (60% Mortalidade)	13737,0	0,16	20,50	71,20	125,20	< 0,32	125,20	1,10	< 0,20	< 50,0	62,20	70,50
Antes Utresa		511,0	< 0,04	1,26	< 10,0	13,00	< 0,32	13,00	0,29	< 0,20	< 50,0	24,20	< 4,0
Após Utresa		4113,0	< 0,04	< 0,4	22,40	28,20	< 0,32	28,20	1,20	< 0,20	< 50,0	34,20	38,50

	Data da Coleta :01/10/2013	Alumínio* mg/Kg	Cádmio* mg/Kg	Chumbo* mg/Kg	Cobre* mg/Kg	Cromo III* mg/Kg	Cromo VI* mg/Kg	Cromo Total* mg/Kg	M. O* %	Mercúrio* mg/Kg	Níquel* mg/Kg	Umidade** %	Zinco* mg/Kg
Ponto I	Nascente												
Ponto II	Fórum	521,0	< 0,04	2,91	17,30	22,30	< 0,32	22,30	0,23	< 0,20	< 50,0	26,80	16,00
Ponto V	Antes B. Rosas	2758,0	< 0,04	2,00	18,80	16,70	< 0,32	16,70	0,43	< 0,20	< 50,0	26,80	9,70
Ponto VI	B. Rosas	2256,0	< 0,04	1,44	52,70	< 10,0	< 0,32	< 10,0	0,20	< 0,20	< 50,0	31,50	57,60
Ponto VII	Após Centro	1057,0	< 0,04	1,44	55,00	22,80	< 0,32	22,80	0,31	< 0,20	< 50,0	29,50	26,20
Ponto VIII	Após lançamento Balneário	2022,0	< 0,04	3,74	30,00	25,40	< 0,32	25,40	0,72	< 0,20	< 50,0	35,80	24,70
Ponto IX	Lira	2222,0	< 0,04	2,17	47,60	57,70	< 0,32	57,70	0,95	< 0,20	< 50,0	27,30	59,50
Ponto X	Bairro das Quintas	606,0	< 0,04	1,36	22,00	24,50	< 0,32	24,50	0,22	< 0,20	< 50,0	24,70	8,92
Ponto XI	Campo Grande I	426,0	< 0,04	0,56	21,3	15,80	< 0,32	15,80	0,24	< 0,20	< 50,0	23,40	7,35
Ponto XII	Campo Grande II	1796,0	< 0,04	1,62	26,50	24,30	< 0,32	24,30	0,93	< 0,20	< 50,0	17,81	36,80
Ponto XIII	Antes Utresa	9689,0	< 0,04	12,80	22,90	< 10,0	< 0,32	< 10,0	1,10	< 0,20	< 50,0	37,90	< 4,0
Ponto XIV	Após Utresa	795,0	< 0,04	1,54	16,70	< 10,0	< 0,32	< 10,0	0,21	< 0,20	< 50,0	25,10	< 4,0

2014

	Data da Coleta :02/07/2014	Alumínio* mg/Kg	Cádmio* mg/Kg	Chumbo* mg/Kg	Cobre* mg/Kg	Cromo III* mg/Kg	Cromo VI* mg/Kg	Cromo Total* mg/Kg	M. O* %	Mercúrio* mg/Kg	Níquel* mg/Kg	Umidade** %	Zinco* mg/Kg
Ponto I	Nascente	27093,0	< 2,0	11,00	123,00	314,00	< 0,32	314,00	0,62	< 0,20	41,00	69,10	84,10
Ponto II	Fórum	620,0	< 2,0	7,25	6,77	103,00	< 0,32	103,00	1,80	< 0,20	< 2,0	30,70	36,20
Ponto V	Antes B. Rosas	6141,0	< 2,0	3,74	17,30	121,50	< 0,32	121,50	1,39	< 0,20	7,81	19,60	26,10
Ponto VI	B. Rosas	708,0	< 2,0	< 2,0	24,40	23,70	< 0,32	23,70	0,62	< 0,20	13,00	16,00	30,00
Ponto VII	Após Centro	2520,0	< 2,0	< 2,0	14,30	13,20	< 0,32	13,20	0,35	< 0,20	9,80	21,60	30,90
Ponto VIII	Após lançamento Balneário	1467,0	< 2,0	2,80	15,70	33,50	< 0,32	33,50	0,54	< 0,20	3,32	26,90	15,10
Ponto IX	Lira	1831,0	< 2,0	< 2,0	22,70	46,30	< 0,32	46,30	0,57	< 0,20	11,50	20,60	30,20
Ponto X	Bairro das Quintas	1566,0	< 2,0	4,26	11,20	66,50	< 0,32	66,50	0,24	< 0,20	3,53	25,40	16,10
Ponto XI	Campo Grande I	1053,0	< 2,0	< 2,0	19,4	39,60	< 0,32	39,60	1,26	< 0,20	14,60	24,20	37,10
Ponto XII	Campo Grande II	717,0	< 2,0	< 2,0	10,40	39,90	< 0,32	39,90	0,98	< 0,20	5,09	22,80	16,80
Ponto XIII	Antes Utresa	376,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	5,64	< 0,32	5,64	2,08	< 0,20	< 2,0	23,90	3,35
Ponto XIV	Após Utresa	608,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	9,73	< 0,32	9,73	0,68	< 0,20	< 2,0	26,60	3,26

2015

Data da Coleta : 02/09/2015	ARROIO ESTÂNCIA VELHA										ARROIO CASCALHO	
ENSAIOS	Ponto I - Nascente	Ponto II - Fórum	Ponto V - Ant. B. Rosas	Ponto VI - B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Foz Bain.	Ponto IX - Lira	Ponto X - B. Quintas	Ponto XI - C. Grande	Ponto XII - C. Grande II	Ponto XIII - Ant ULT	Ponto XIV - Após ULT
1 - Alumínio total (mg/kg)*	7456	763	7449	1544	5466	1283	3837	992	1864	1661	362	1408
2 - Cádmio total (mg/kg)*	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
3 - Chumbo total (mg/kg)*	7,0	3,7	6,8	< 2,00	3,7	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00	< 2,00
4 - Cobre total (mg/kg)*	16,9	4,4	17,4	13,8	23,3	5,3	17,8	6,7	14,0	3,2	5,1	< 2,00
5 - Cromo III (mg/kg)*	10,2	17,6	20,8	12,8	40,2	9,1	22,0	29,2	61,9	4,0	< 2,00	6,7
6 - Cromo VI (mg/kg)*	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32	< 0,32
7 - Cromo total (mg/kg)*	10,2	17,6	20,8	12,8	40,2	9,13	22	29,2	61,9	4,0	< 2,00	6,72
8 - Matéria orgânica (%)*	1,3	0,3	1,3	0,9	1,0	0,4	0,8	1,1	0,4	0,2	0,1	0,4
9 - Mercúrio total (mg/kg)*	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
10 - Níquel total (mg/kg)*	10,0	< 2,00	7,2	6,8	11,8	< 2,00	7,5	< 2,00	4,7	< 2,00	< 2,00	< 2,00
11 - Umidade (a 65°C) (%)**	49,8	28,4	24,1	22,0	30,5	25,8	27,2	25,7	23,9	31,2	22,2	37,4
12 - Zinco total (mg/kg)*	44,3	17,9	28,4	17,5	37,5	11,4	20,9	8,6	23,4	5,8	4,3	7,9

2016

Data da Coleta : 01/09/2015	ARROIO ESTÂNCIA VELHA									
ENSAIOS	Ponto I - Nascente	Ponto II - Fórum	Ponto V - Ant. B. Rosas	Ponto VI - B. Rosas	Ponto VII - Após Centro	Ponto VIII - Foz Baln.	Ponto IX - Lira	Ponto X - B. Quintas	Ponto XI - C. Grande I	Ponto XII - C. Grande II
1 – Alumínio total (mg/kg)*	19941	4322	16191	4315	9640	7025	2141	2263	2125	3843
2 – Cádmi total (mg/kg)*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
3 – Chumbo total (mg/kg)*	7,75	428	6,93	<2,00	10,7	4,32	<2,00	<2,00	<2,00	2,87
4 – Cobre total (mg/kg)*	53,7	81,4	25,7	14,6	46	4,81	7,64	7,41	7,86	14,9
5 – Cromo III (mg/kg)*	40,9	1570	24,3	10	70,2	7,18	12,8	30	16,4	42,5
6 – Cromo VI (mg/kg)*	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32
7 – Cromo total (mg/kg)*	40,9	1570	24,3	10	70,2	7,18	12,8	30	16,4	42,5
8 – Matéria orgânica (%)*	0,84	0,29	0,46	0,2	0,19	0,65	0,28	0,34	0,65	0,35
9 – Mercúrio total (mg/kg)*	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,28	< 0,20	< 0,20
10 – Níquel total (mg/kg)*	20,4	6,82	14,0	12,2	12,1	3,14	4,14	3,15	3,51	5,93
11 – Umidade (a 65°C) (%)**	72,6	34,4	21,5	22,8	35,8	22,5	23,4	22,4	22,6	21,6
12 – Zinco total (mg/kg)*	56,0	89,2	56,2	33,6	123,0	13,9	15,6	15,5	17,5	37,0
⇒ Sedimento Hyalella azteca (micro	Nenhum Efeito (12,5% mortalidade)	Nenhum Efeito (12,5% mortalidade)		Nenhum Efeito (2,5% mortalidade)	Nenhum Efeito (10,0% mortalidade)	Nenhum Efeito (10,0% mortalidade)	Nenhum Efeito (5% mortalidade)	Nenhum Efeito (7,5% mortalidade)	Nenhum Efeito (7,5% mortalidade)	Nenhum Efeito (0% mortalidade)

2017

Data da Coleta : 23/08/2017		PONTOS DE AMOSTRAGEM						
ENSAIOS	Ponto I - Nascente	Ponto XII - Anterior Bairro das Rosas	Ponto XIII - Seta	Ponto XVII - Foz Arroio Balneário	Ponto XIX - Lira	Ponto XXIII - Bairro das Quintas	Ponto XXV - Campo Grande I	Ponto X XIX - Campo Grande II
1 – Alumínio total (mg/kg)*	19010	5315	2064	2712	1943	1624	958	10563
2 – Cádmio total (mg/kg)*	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
3 – Chumbo total (mg/kg)*	9,6	6,7	3,5	5	<2,00	<2,00	<2,00	12,2
4 – Cobre total (mg/kg)*	36,8	19,4	29,4	15,5	10,6	25,1	6,58	20,9
5 – Cromo III (mg/kg)*	60,8	36	36,2	107	13,3	29,3	17	18,8
6 – Cromo VI (mg/kg)*	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	<0,32	0,42	6,21
7 – Cromo total (mg/kg)*	60,8	36	36,2	107	13,3	29,3	17,4	25
8 – Matéria orgânica (%)*	<0,1	0,26	0,34	0,17	1,1	<0,1	0,16	0,28
9 – Mercúrio total (mg/kg)*	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
10 – Níquel total (mg/kg)*	16,7	10,6	12,5	6,36	4,07	7,33	3,56	5,07
11 – Umidade (a 65°C) (%)**	-	-	-	-	-	-	-	-
12 – Zinco total (mg/kg)*	60,3	33,7	310	42,6	55,4	30,1	16,7	27,6