



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DO CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
NÍVEL MESTRADO

TIAGO ALEXANDRE MANENTI SILVESTRINI

**DRENAGENS ÁCIDAS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO E SUA INFLUÊNCIA NO
COMPORTAMENTO DO pH ESTUARINO DO RIO ARARANGUÁ**

ARARANGUÁ
2020

TIAGO ALEXANDRE MANENTI SILVESTRINI

**DRENAGENS ÁCIDAS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO E SUA INFLUÊNCIA NO
COMPORTAMENTO DO pH ESTUARINO DO RIO ARARANGUÁ**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC – Campus Araranguá para obtenção do grau de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Professora Dr^a. Carla de Abreu D'Aquino.

ARARANGUÁ

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silvestrini, Tiago Alexandre Manenti
Drenagens ácidas da mineração de carvão e sua influência
no comportamento do pH estuarino do rio Araranguá / Tiago
Alexandre Manenti Silvestrini ; orientadora, Carla de
Abreu D'Aquino, 2020.
94 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Drenagem ácida de
mina. 3. pH. 4. Estuário do rio Araranguá. I. D'Aquino,
Carla de Abreu. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e
Sustentabilidade. III. Título.

TIAGO ALEXANDRE MANENTI SILVESTRINI

**DRENAGENS ÁCIDAS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO E SUA INFLUÊNCIA NO
COMPORTAMENTO DO pH ESTUARINO DO RIO ARARANGUÁ**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Dr.
Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina

Prof. Claus Troger Pich, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Energia e Sustentabilidade.

Prof. Ricardo Alexandre Reinaldo de Moraes, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade

Prof^a. Carla de Abreu D´Aquino, Dr^a.
Orientadora

Araranguá, 2020

AGRADECIMENTOS

A Deus, energia superior que rege este universo e nossos caminhos. Aos meus pais Antônio e Albertina, e a minha esposa Marina por todo incentivo e apoio em todos os momentos desta jornada. A minha filha Anna Maria, o maior, mais belo e mais bem executado projeto de toda minha vida. A orientadora e amiga Dr^a Carla de Abreu D'Aquino, por todo apoio, experiência, incentivo, dedicação e por ter me mostrado o quão magníficos são os processos costeiros e estuarinos e sua importância para um ecossistema equilibrado. Aos colegas de trabalho, James Polz e Bruno Coan, sem o qual seu apoio e incentivo este mestrado não seria concluído e sequer iniciado. Aos colegas Gustavo Simão, Ives Fiegenbaum e Eder Cechella por todas as idéias, experiências e troca de informações que contribuíram para realização deste trabalho. Aos professores Nadja Zim Alexandre, Jurandir Pereira Filho, Reginaldo Geremias, e aos membros da banca de avaliação Carlyle Torres Bezerra de Menezes e Claus Troger Pich por todas contribuições dadas ao trabalho. Ao coordenador do Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade, Prof. Ricardo Alexandre Reinaldo de Moraes pelo auxílio a disponibilização dos equipamentos necessários as medições de campo. Aos companheiros de mestrado da turma 2018, sem os quais o apoio no curso das disciplinas, este trabalho não teria iniciado. A EPAGRI/CIRAM, ANA, UFSC e Defesa Civil/Araranguá pela disponibilização dos dados que contribuíram neste trabalho. A CAPES pelos recursos e apoio destinados aos cursos de pós-graduação. Enfim, a todos aqueles que embora não citados contribuíram de alguma forma, para realização deste mestrado e desta pesquisa, deixo meu "Muito Obrigado!".

RESUMO

O carvão catarinense vem sendo explorado para fins energéticos e metalúrgicos há mais de 100 anos. Devido a carência de planejamento e políticas ambientais, a atividade durante anos não adotou técnicas adequadas, resultando em um grande passivo ambiental pelo seu potencial de formação da Drenagem Ácida de Mina (DAM) (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009). Os estuários da região recebem águas com baixo pH, com elevada carga de acidez e poluentes. Este trabalho teve por objetivo descrever o comportamento do pH no estuário do rio Araranguá pela particularidade de receber efluentes ácidos e promover seu ingresso para as águas costeiras. Condições de pH, temperatura, salinidade, vazão dos rios, pluviometria, direção e intensidade dos ventos e condições de maré foram monitorados por meio de campanhas semanais em 7 pontos na região costeira e estuário. Com uso de análise estatística e correlações qualitativas foi possível caracterizar o comportamento do pH no estuário. O padrão que se verificou durante o desenvolvimento deste trabalho é o de dependência da vazão e pluviometria. Não ficaram evidentes variações do pH em função da maré e ventos. No período avaliado, o estuário operou em Modo Marinho, por mais de 80% do tempo, desempenhando um papel filtrante muito importante, recebendo águas de baixo pH através do rio Mãe Luzia e entregando a zona costeira adjacente água com pH neutro. No restante, o estuário operou em Modo Fluvial, sendo que nesta condição são encontrados flocos em suspensão dispersos por todo o estuário, e em eventos extremos ocorre a exportação para zona de praia sendo percebidos na areia e zona de arrebenção junto a foz. Ficam demonstradas as condições para exportação de águas de baixo pH e de flocos formados em consequência do impacto por DAM para a zona costeira adjacente. Embora ocorra a exportação dos sedimentos contaminados, não foram visualizados valores de pH ácidos na zona costeira durante estes eventos não deixando clara uma eventual contribuição do estuário do rio Araranguá para acidificação oceânica. Este trabalho incentiva a discussão sobre as relações entre impactos da atividade carbonífera no ambiente estuarino e costeiro, até então pouco apontados, subsidiando possíveis ações preventivas a poluição neste ambiente.

Palavras-chave: Drenagem Ácida de Mina, Estuário do Rio Araranguá, pH.

ABSTRACT

Santa Catarina coal has been explored for energy and metallurgical purposes for over 100 years. Due to the lack of planning and environmental policies, the activity for years did not adopt adequate techniques, resulting in a great environmental liability due to its potential to form Acid Mine Drainage (DAM) (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009). The estuaries in the region receive waters with low pH, with a high load of acidity and pollutants. This work aimed to describe the pH behavior in the Araranguá River estuary due to the particularity of receiving acidic effluents and promoting their entry into coastal waters. Conditions of pH, temperature, salinity, flow of rivers, pluviometry, direction and intensity of winds and tidal conditions were monitored through weekly campaigns at 7 points in the coastal region and estuary. Using statistical analysis and qualitative correlations, it was possible to characterize the pH behavior in the estuary. The pattern that was observed during the development of this work is that of dependence on flow and rainfall. There were no evident changes in pH depending on the tide and winds. During the period evaluated, the estuary operated in Marine Mode, for more than 80% of the time, playing a very important filtering role, receiving low pH waters through the Mãe Luzia River and delivering water with neutral pH to the adjacent coastal zone. In the remainder, the estuary operated in Fluvial Mode, in which condition flakes are found in suspension dispersed throughout the estuary, and in extreme events there is export to the beach area, being perceived in the sand and surf zone near the mouth. The conditions for exporting low pH waters and flakes formed as a result of the impact by DAM to the adjacent coastal zone are demonstrated. Although contaminated sediments are exported, acidic pH were not seen in the coastal zone during these events, making it unclear whether the Araranguá River estuary could contribute to ocean acidification. This work encourages the discussion about the relationship between the impacts of carboniferous activity in the estuarine and coastal environment, hitherto little mentioned, supporting possible preventive actions to pollution in this environment.

Keywords: Acid Mine Drainage, Araranguá River Estuary, pH.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização da bacia carbonífera de Santa Catarina e bacias hidrográficas impactadas pela mineração, em verde estão destacados os principais estuários do sul do estado, Tubarão ao norte, Urussanga no centro e estuário do rio Araranguá a sul. O retângulo vermelho mostra a área da bacia carbonífera de Santa Catarina e o traçado em magenta os principais rios de cada bacia..... 15
- Figura 2 - Representação de um estuário e seus setores. Zona marítima ou baixo estuário, caracterizada pela maior presença de águas salinas; Zona de mistura ou médio estuário, caracterizada pelas maiores amplitudes de salinidade e; Zona Flúvio-marítima ou altos estuário, caracterizada por águas doces, porém que ainda sofrem influências e alteração de níveis em virtude da oscilação das marés. 19
- Figura 3 - Localização do estuário do rio Araranguá, no sul de Santa Catarina. O rio Araranguá é formado pela confluência dos rios Mãe Luzia a norte, e Itoupava a sul. Está inserido nos municípios de Araranguá e Maracajá no sul do estado. 31
- Figura 4 - Imagem aérea da região estuarina do rio Araranguá com a localização dos pontos de coleta em campo: Barra Velha, Morro dos Conventos, Balsa, Fazenda, BR 101, Itoupava e Mãe Luzia. 35
- Figura 5 - Realização dos trabalhos de campo. A: Coleta realizada com o uso de coletor plástico de 1 litro com haste alongável de 2 metros a partir da margem do rio. B: Medições e notas complementares. 36
- Figura 6 - Mapa hipsométrico da totalidade territorial da bacia hidrográfica do rio Araranguá e localização dos pontos de coleta em campo, bem como limites municipais. 38
- Figura 7 - Mapa das sub-bacias hidrográficas pertencentes a bacia do rio Araranguá e localização das estações de coleta de dados secundários: Estações pluviométricas, fluviométricas, marégrafo e anemômetro. 40
- Figura 8 - Distribuição dos dados de pH dos estudos históricos avaliados. Percebe-se a baixa variação no ponto Mãe Luzia, com pH baixo. Itoupava atuando como ponto branco e a partir do ponto BR101 até a Foz nota-se grande amplitude dos dados, evidenciando papel “tampão” das águas salinas frente as DAM..... 46
- Figura 9 - Regressão linear considerando dados de pH em superfície para todos os pontos x distância das áreas mineradas. Conforme aumenta a distancia das áreas fonte de acidez, há uma considerável elevação do pH, em virtude do aporte de contribuintes não impactados e da atuação das águas salinas..... 49
- Figura 10 - Regressão linear considerando dados de salinidade (ppt) em superfície em todos os pontos x distância do mar (km). Quanto menor a distancia do mar, maior atuação das águas salinas e conseqüente aumento da salinidade e efeito “tampão” sobre o pH..... 49
- Figura 11 - Distribuição total dos dados de pH no presente estudo. Nota-se pH mais elevados que as médias históricas no ponto Mãe Luzia, apesar de ainda elevada amplitude nos dados. Assim como para os dados históricos, o pH a partir do ponto BR 101 eleva-se conforme aumento da distancia das áreas fonte e maior atuação do efeito “tampão” das águas salinas. 50

Figura 12 - Distribuição temporal dos dados de pH. Nos círculos em preto períodos em que o pH ficou abaixo de 6,0 no ponto Balsa Meio. No círculo vermelho, valores de pH mais baixos verificados no ponto Mãe Luzia. A linha vermelha indica os valor mínimo aceitável para pH em rios de classe II, conforme resolução CONAMA 357/2009.	52
Figura 13 - Distribuição temporal dos dados de pluviometria 24h nas estações avaliadas. Setas vermelhas indicam pluviometrias altas, por consequência “ondas de cheia”. Setas azuis indicam períodos de pluviometria e vazões médias.	52
Figura 14 - Variação temporal da salinidade entre as campanhas realizadas. Setas coloridas indicam picos de salinidade no interior do estuário, correspondendo a baixos índices pluviométricos na Figura 15. Nota-se maiores salinidades na zona costeira nos meses mais quentes, e picos de salinidade no interior do estuário.	54
Figura 15 - Variação temporal dos dados de pluviometria. Círculos coloridos indicam baixos índices pluviométricos nas ultimas 72h, correspondendo aos picos de salinidade na Figura 14.	55
Figura 16 - Evolução temporal dos dados brutos de Temperatura durante o ano avaliado. Nota-se que a temperatura em superfície é diretamente relacionada a temperatura ambiente, variando conforme estações do ano.	55
Figura 17 - Distribuição de frequência dos dados de pH no estuário do rio Araranguá considerando os pontos em superfície. Verifica-se padrão de distribuição normal dos dados.	56
Figura 18 - Distribuição de frequência dos dados de salinidade no estuário do rio Araranguá considerando os pontos em superfície. De modo geral nota-se baixos valores em superfície, com ocorrência de salinidades elevadas apenas em picos de baixa pluviosidade.	56
Figura 19 - Histogramas de distribuição de frequências por estação do ano. Observa-se que no inverno e primavera há uma maior distribuição dos dados em virtude das variações diárias de pluviometria. No outono, onde grandes precipitações em curto espaço de tempo foram pouco ocorrentes, os valores de pH ficaram constantes. ...	57
Figura 20 - Histogramas de distribuição de frequências por setor estuarino e zona costeira. Na zona costeira, pH elevado. No estuário inferior, pH variando de 5,5 a 7,0 em virtude da maior ação das águas salinas. No estuário superior, ocorrências bem distribuídas de 4,5 a 7,0 refletindo as condições de pluviosidade na bacia e aporte de efluentes ácidos.	58
Figura 21 - Histogramas de distribuição de frequências de salinidade por setor estuarino e zona costeira. Na zona costeira a salinidade permaneceu por mais de 100 ocorrências superior a 16 ppt. Apenas em 2 situações, a salinidade ficou abaixo disso, em casos especiais onde a alta pluviometria, aliada a direção da corrente marinha fez-se perceber menores salinidades no ponto Barra Velha.	59
Figura 22 - Relação pH x Salinidade nos pontos em Meio D´água, nos pontos Balsa e Fazenda. Elevação da salinidade leva a maiores pH, evidenciando efeito “tampão” do sal nas águas de baixo pH.	60
Figura 23 - Relação entre salinidade x pluviometria Araranguá nos últimos 7 dias, no ponto Balsa. Quanto maior a pluviometria, menor a salinidade demonstrando a expulsão das águas salinas do interior do estuário para a zona costeira.	60

Figura 24 - Relação pH Mãe Luzia x Pluviometria 72h Forquilha. Em um primeiro momento a pluviometria reflete no aumento do pH, em virtude da diluição provocada pelo aporte das águas pluviais nas drenagens. Somente após a passagem da “onda de cheia” ou “enchente relâmpago” é que os pH ácidos irão refletir em seu valor absoluto mediante aos contaminantes e acidez carregada para as drenagens após eventos pluviométricos.	61
Figura 25 - Relação salinidade no mar x direção dos ventos. Observa-se que foram verificadas salinidades mais altas na zona costeira com ventos de quadrante N-L (0 a 90°) e N-W (270 a 360°), que podem estar relacionados ao fenômeno da ressurgência marinha.	62
Figura 26 - Flocos em suspensão verificados no rio Mãe Luzia. Flocos formados por argilas, areias, matéria orgânica, metais, outros sais e sulfatos, em virtude da adsorção pela matéria particulada dos elementos presentes nas DAM oriundas das áreas de mineração.....	65
Figura 27 - Flocos em suspensão verificados no baixo estuário do rio Araranguá, Ponto Balsa. Altas vazões, além de não dar o tempo necessário para o estuário decantar os flocos e metais diluídos, re-suspende e arrasta boa parte dos flocos já depositados no fundo do estuário.....	65
Figura 28 - Flocos em suspensão depositados na areia da praia no Balneário Rincão, Ponto Praia da Barra Velha. Nestas ocasiões, acredita-se que juntamente com os flocos visualizados na zona de arrebenção, metais e águas de pH mais baixo estão atingindo a zona costeira.	66
Figura 29 - Diferentes condições verificadas no ponto ML - rio Mãe Luzia, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{mlt}$ - Fluvial; B: $Q > Q_{10}$ - Fluvial; C: $Q < Q_{90}$ - Marinho; D: $Q < Q_{mlt}$ - Marinho. Nota-se grande variação no aspecto visual do rio, com a presença de flocos, turbidez e cor conforme modo de atuação do estuário.	68
Figura 30 - Diferentes condições verificadas no Ponto Balsa - rio Araranguá, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{10}$ – Fluvial, com forte corrente e alta turbidez durante evento de alta pluviosidade; B: $Q < Q_{mlt}$ – Marinho, com corrente de enchente e baixa turbidez.	70
Figura 31 - Diferentes condições verificadas no FZ - rio Araranguá, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{mlt}$ - Fluvial; B: $Q < Q_{90}$ – Marinho.....	71
Figura 32 - Modelo de transporte de material em suspensão baseado nas vazões de permanência. Capacidade de entrada da cunha salina no interior do estuário é inversamente proporcional a pluviometria na bacia. Maiores vazões do rio, menor atuação da cunha e conseqüente menor poder “tampão” frente as águas de baixo pH.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese de publicações avaliadas que abordam estuários impactados por DAM, constando autores, objetivos, análises e testes realizados, resultados e conclusões bem como outras informações relevantes extraídas das mesmas.	22
Tabela 2 - Síntese dos estudos já realizados na região estuarina do Rio Araranguá, constando autores, objetivos, análises e testes realizados, resultados e conclusões bem como outras informações relevantes extraídas destes.	43
Tabela 3 - Comparativo valores de pH verificados em estudos anteriores e no presente estudo. Nota-se o aparente aumento dos valores gerais no ano avaliado.	51
Tabela 4 - Precipitação total acumulada em mm para o período monitorado - Estação Araranguá. Índices de pluviometria no outono muito superiores ao esperado para este período do ano.....	57
Tabela 5 - Vazões de permanência, ocorrências e modo de funcionamento do estuário do rio Araranguá.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agencia Nacional de águas;

APA – Área de proteção ambiental;

APP – Área de preservação permanente;

BHRA – Bacia hidrográfica do rio Araranguá;

BOOA – Base de observação oceano e atmosfera;

CETESB – Companhia ambiental do estado de São Paulo;

CIRAM - Centro de informações de recursos ambientais e hidrometeorologia do estado de Santa Catarina;

CONAMA – Conselho nacional do meio ambiente;

CPRM - Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil;

DAM – Drenagem ácida de mina;

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral;

ECP – Empresa consultores e projetistas;

EIA – Estudo de impacto ambiental;

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina;

FAMA – Fundação do meio ambiente de Araranguá;

FATMA – Fundação do meio ambiente de Santa Catarina;

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia;

JICA - Japan International Cooperation Agency;

MONA – Monumento natural;

MPS – Material Particulado em Suspensão;

pH – Potencial hidrogeniônico;

PMA – Prefeitura Municipal de Araranguá;

RESEX – Reserva extrativista;

RIMA – Relatório de impacto ao meio ambiente;

SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina;

SIECESC – Sindicato da Indústria de extração de carvão de Santa Catarina;

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;

UNESC – Universidade do Extremo sul de Santa Catarina.

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	14
1.1 Introdução	14
1.2 Pergunta de pesquisa	17
1.3 Objetivo Geral	17
1.4 Objetivos Específicos	17
2 ESTADO DA ARTE.....	19
2.1 Estuários e acidificação das águas costeiras.....	19
2.2 Carvão mineral catarinense, geração de energia e impactos ambientais	25
3 METODOLOGIA	30
3.1 Área de estudo	30
3.2 Coleta de dados	34
3.3 Pontos de coleta.....	36
3.4 Levantamento de dados secundários.....	38
3.5 Tratamento dos dados.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6 REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE 1.....	84
APÊNDICE 2.....	88

1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

1.1 Introdução

A Bacia Carbonífera Catarinense, no Sul do Estado, ocupa uma área com cerca de 95 km de comprimento e uma largura de aproximadamente 20 km, abrangendo parte das bacias hidrográficas dos rios Araranguá (BHRA), Urussanga e Tubarão, importantes mananciais hídricos do Estado de Santa Catarina (BRASIL, 2016).

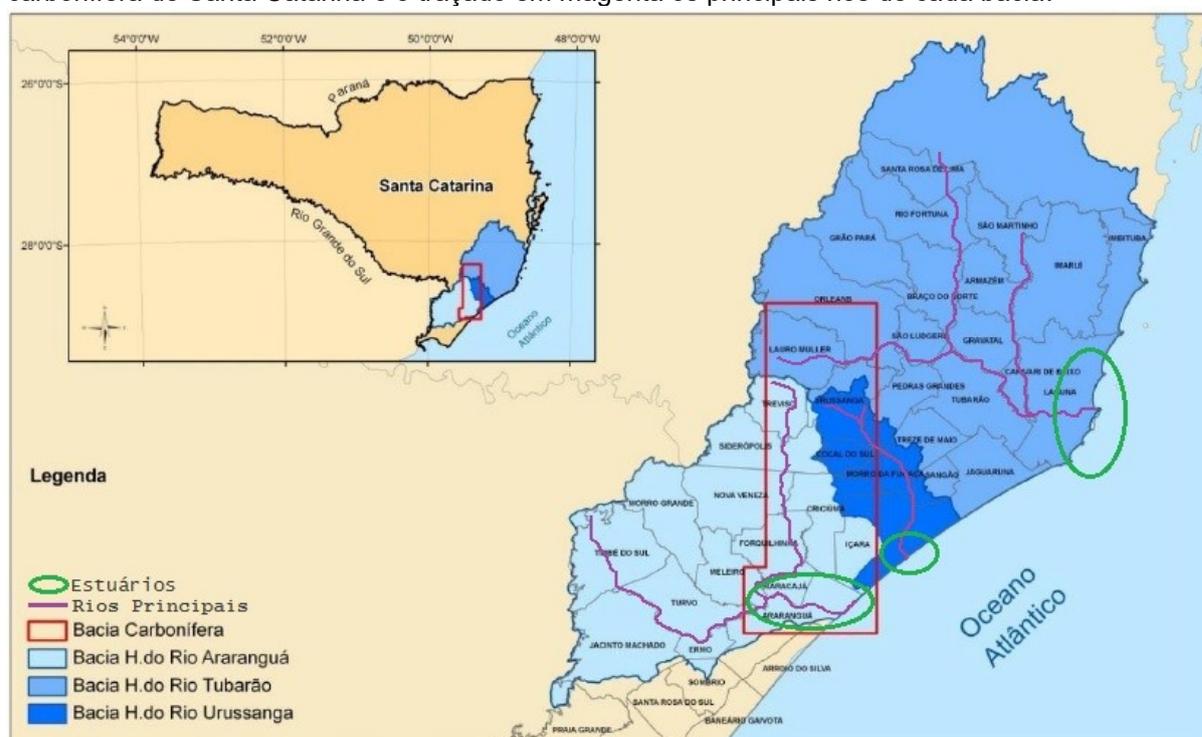
O carvão mineral existente em Santa Catarina vem sendo explorado desde o início dos anos 1900, inicialmente apenas como suprimento energético para movimentação de caldeiras de navios e locomotivas, passando a ser fonte de iluminação direta na capital do país nos anos 20, vindo a se tornar insumo para a indústria siderúrgica nos anos 40 a 80, e finalmente tendo seu uso quase que exclusivo para geração de energia em centrais termoelétricas a partir dos anos 90 (BRASIL, 2005). Este é atualmente o principal destino do carvão catarinense, abrangendo aproximadamente 98,5% de toda produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL, 2016).

Devido a carência de planejamento, tecnologia e aplicação de políticas ambientais, a extração de carvão durante anos não adotou técnicas adequadas para disposição dos rejeitos e estéreis oriundos da atividade, tornando-se estes um grande passivo ambiental a ser reparado, principalmente pelo seu potencial de formação da Drenagem Ácida de Mina (DAM). A DAM desencadeia a acidificação das águas, em um fenômeno físico-químico onde minerais sulfetados que ocorrem juntamente as camadas de carvão e seus rejeitos, que quando expostos ao oxigênio atmosférico e água são quimicamente alterados, liberando ferro e compostos de enxofre ao meio aquoso. Estes compostos, altamente ácidos e solúveis podem solubilizar outros elementos tóxicos associados as rochas existentes, como alumínio, manganês, cobre, zinco, chumbo, mercúrio, cádmio entre outros, deixando-os biodisponíveis aos organismos na coluna d'água (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

Neste contexto, a região carbonífera de Santa Catarina na década de 80 foi decretada como uma das 14 áreas críticas nacionais para efeitos de controle da poluição e conservação da qualidade ambiental, pelo Decreto 85.206 de 25/09/1980 (ALEXANDRE, 2000). Dado o problema pode-se estimar que os estuários da região

compreendida entre a foz dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá (Figura 1), receberam e ainda recebem diariamente águas com baixo pH, alta acidez e demais poluentes oriundos da atividade carbonífera. Em consequência deste fato e aliado a outros, os estuários foram fortemente impactados, com a diminuição da atividade pesqueira, turismo, perda da qualidade de vida e com reflexos na economia das vilas e municípios da região, com impactos também na diversidade e quantidade das demais espécies da fauna e flora local (VOLPATO; MENEZES; SILVA, 2017).

Figura 1 - Localização da bacia carbonífera de Santa Catarina e bacias hidrográficas impactadas pela mineração, em verde estão destacados os principais estuários do sul do estado, Tubarão ao norte, Urussanga no centro e estuário do rio Araranguá a sul. O retângulo vermelho mostra a área da bacia carbonífera de Santa Catarina e o traçado em magenta os principais rios de cada bacia.



Fonte: BRASIL, 2017.

Estuários são ambientes de transição entre os continentes e o oceano, onde as águas continentais, trazidas pelos rios encontram o mar, resultando em uma mistura das águas. Normalmente, as águas estuarinas são mais produtivas em termos biológicos que as águas dos rios, e do oceano próximo, uma vez que características da circulação hidrodinâmica local aprisionam nutrientes, algas e plantas, estimulando a produtividade destes corpos (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Os estuários tendem a ser os receptáculos das substâncias naturais e de produtos da atividade do homem que ocorrem em toda bacia. Alguns destes produtos

podem ocasionar a degradação da qualidade das águas do estuário. Como exemplos, temos o excesso de matéria orgânica e nutrientes, pesticidas e herbicidas, metais pesados, óleos e outras substâncias, calor e sedimentos (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

A região estuarina da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, possui interface com importantes unidades de conservação: A Área de Proteção Ambiental (APA) da Costa de Araranguá, juntamente com a Reserva Extrativista (RESEX) do rio Araranguá, e o Monumento Natural (MONA) do Morro dos Conventos. Segundo o disposto no art. 3º da Lei 9.433/97 (Política e Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos), deve haver a gestão integrada entre bacias hidrográficas e unidades de conservação em ambientes marinhos - costeiros, caso verificado neste estudo de caso. Ainda, a Lei nº 5.793 de 15/01/80 define os estuários como *áreas de proteção especial*, e devem ser assim consideradas por tratarem-se de áreas sensíveis à poluição ambiental, uma vez que servem de berçário para manutenção não só da vida no rio, mas também no litoral.

O estuário do rio Araranguá recebe as águas ácidas com baixo pH da bacia hidrográfica, fazendo a conexão entre os processos hídricos continentais e oceânicos. Ao redor deste ambiente estão comunidades tradicionais, balneários, pontos turísticos, e regiões de agricultura que dependem das águas deste ambiente para suas diversas necessidades. O conjunto de dados obtidos nesta pesquisa deverá constituir importantes elementos para um maior conhecimento dos mecanismos de difusão das drenagens ácidas da mineração na região estuarina, descrevendo o comportamento do pH no estuário pela sua particularidade ligada a mineração de carvão no interior da bacia.

Cientificamente, a acidificação dos oceanos tem sido um tema debatido mundialmente (Caldeira e Wickett, 2003; Sabine et al, 2004; Orr et al, 2005; Dickson, et al, 2007; Widdicombe&Spicer, 2008) e o papel do estuário no controle da acidificação que chega aos oceanos é de grande relevância nesse processo que está diretamente relacionado com o incremento de CO₂ na atmosfera e o aquecimento global. Assim, a execução e os dados coletados neste trabalho contribuem para o conhecimento científico da questão de impactos de efluentes ácidos em estuários e regiões costeiras severamente impactados por drenagens ácidas oriundas de processos de mineração.

Globalmente, esta pesquisa está em linha com um dos objetivos firmados internacionalmente na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20 para os oceanos; “Objetivo 1 – Ações para reduzir fatores de estresse e manter ou recuperar a estrutura e função dos ecossistemas marinhos: Implementar ações para se adaptar e mitigar a acidificação dos oceanos” (IOC/UNESCO, IMO, FAO, 2011).

Ainda, no ano de 2015, a questão dos oceanos foi incluída na agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), onde foram definidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que devem ser implementados por todos os países do mundo até 2030. Entre eles, os Objetivos 13 e 14, onde procura-se tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos e conservar e realizar o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos.

1.2 Pergunta de pesquisa

Como se comportam os valores de pH no estuário e região costeira do rio Araranguá mediante ao aporte das drenagens ácidas oriundas dos passivos ambientais da exploração de carvão frente a atuação das forçantes hidrodinâmicas: maré, direção e intensidade dos ventos, e vazão de drenagem dos rios?

1.3 Objetivo Geral

Descrever o comportamento dos valores de pH no estuário do rio Araranguá pela particularidade de ser o recipiente das drenagens ácidas oriundas das atividades de mineração de carvão na região carbonífera de Santa Catarina.

1.4 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica de dados históricos de qualidade de água, climáticos e hidrodinâmicos em estudos já publicados referentes ao estuário e região costeira do rio Araranguá;
- Realizar campanhas de coleta de dados primários, semanalmente em 7 pontos na região costeira e do estuário do rio Araranguá pelo período de 1 ano;

- Realizar análise estatística dos dados coletados, relacionando-os com os dados históricos fundamentados;
- Elaborar um modelo conceitual do comportamento dos valores de pH no estuário do rio Araranguá, para as principais condições de circulação estuarina (vazão, pluviometria, maré e ventos) durante o ano hidrológico avaliado;
- Identificar a partir dos resultados obtidos quais fatores que levam a neutralização, diluição ou exportação para zona costeira das águas ácidas de baixo pH no estuário.

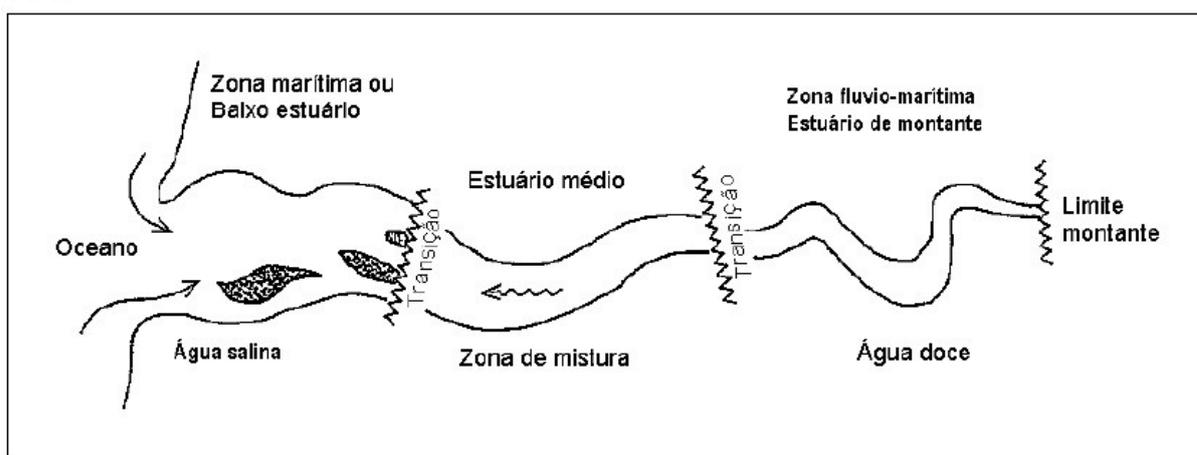
2 ESTADO DA ARTE

2.1 Estuários e acidificação das águas costeiras.

Cameron e Pritchard (1963), apresentam uma das mais conhecidas definições de estuário, frequentemente adotada: “Corpos de água costeiros semifechados com livre ligação com o mar, no qual a água do mar se dilui de forma mensurável com as águas doces provenientes das drenagens terrestres”.

Kjerfve (1987), definiu estuário como um ambiente costeiro com conexão restrita ao oceano adjacente, sendo este podendo ser dividido em três zonas distintas: A zona de maré do rio (ou flúvio-marítma), parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas com influência dos níveis de maré; A zona de mistura, onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com o mar; a zona costeira ou marítima, região que se estende até a frente da pluma estuarina, que delimita a camada limite costeira (Figura 2).

Figura 2 - Representação de um estuário e seus setores. Zona marítima ou baixo estuário, caracterizada pela maior presença de águas salinas; Zona de mistura ou médio estuário, caracterizada pelas maiores amplitudes de salinidade e; Zona Flúvio-marítma ou altos estuário, caracterizada por águas doces, porem que ainda sofrem influências e alteração de níveis em virtude da oscilação das marés.



Fonte: Silva, 2000.

Dyer (1997), descreve os estuários como sistemas extremamente dinâmicos, que se movem e mudam constantemente em resposta aos ventos, às marés e ao escoamento do rio. São ambientes de transição entre continentes e oceanos, onde

ocorrem fortes amplitudes de diversas variáveis, que geram processos hidrodinâmicos, sedimentológicos, biogeoquímicos e biológicos.

A descarga fluvial e os gradientes longitudinais de salinidade gerados pela diluição da água do mar, são fundamentais para a dinâmica do estuário, e em consequência para o transporte e mistura em seu interior (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Bianchi (2007); Campos (2010); enfatizam que os estuários são considerados com ambientes de extrema importância na produtividade primária, devido às altas concentrações de nutrientes, além de constituírem o habitat natural de aves, mamíferos e peixes, sendo ambientes de desova de muitas espécies de peixes de valor comercial e rota de aves migratórias.

Em contrapartida a excelente produtividade biológica, a renovação e depuração das águas destes ambientes depende das interações entre os processos físicos, químicos, biológicos e geológicos ainda não muito compreendidos (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002). De acordo com o mesmo autor, a introdução de substâncias e de energia de forma antrópica nestes ambientes, pode levar a contaminação das águas estuarinas, com profundos efeitos sobre a biota, riscos à saúde humana e restrições a pesca e turismo.

Os estuários, costumam se comportar analogamente a filtros, retendo a maior parte dos materiais que chegam dissolvidos ou particulados através dos rios (DYER, 1997). O material particulado é retido na forma de sedimentos inorgânicos em suspensão (argilas), com cargas elétricas trocáveis. Com a mudança das características da água do rio para o estuário, devido a amplitude já colocada anteriormente (aumento/diminuição da salinidade, nível do rio, ingresso de água doce), aumenta a afinidade elétrica das argilas com a matéria orgânica, tendendo a formar flocos que decantam no estuário, agregando neste processo também possíveis contaminantes que estejam sendo carreados pelos rios ao estuário.

Dyer (1997), assim como Bianchi (2007), descreve que devido a esta dinâmica, os ambientes estuarinos acabam por formar depósitos efetivos de sedimentos, impedindo que grande parte do produto carreado pelos rios, chegue à região da plataforma continental. Em certos aspectos isso pode ser positivo uma vez que os estuários podem reter ou aprisionar poluentes em seu sedimento de fundo, entregando ao oceano águas mais limpas.

Além da redução dos recursos pesqueiros, e outros impactos locais citados por Volpato; Menezes; Silva (2017), a eventual entrada de águas de caráter ácido para a região de costa contribui com a acidificação dos oceanos, impactando não só o estuário, mas toda área costeira.

A acidificação dos oceanos deve ter-se por iniciado desde a primeira revolução industrial, quando a emissão de poluentes aumentou rápida e significativamente graças à instalação das indústrias por toda Europa. Como a escala de pH é logarítmica, uma leve diminuição neste valor pode representar em porcentagem, variações de acidez de grandes dimensões. Dessa forma, pode-se dizer que desde a primeira revolução industrial, a acidez dos oceanos já aumentou em 30% (média de pH de 8,2 para 8,1) e estudos preliminares sobre o efeito dessa acidificação dos oceanos demonstram que a diversidade de vida no mar pode ser afetada diretamente (Orr et al, 2005);(LIMA; LAYRARGUES, 2014).

Segundo Hood (2009) et al, entende-se por acidificação a redução do pH dos oceanos por longos períodos de tempo (décadas ou mais). Esta redução do pH é causada principalmente pela absorção e dissolução do CO₂ atmosférico nos oceanos, mas também pela descarga de efluentes ácidos em áreas costeiras.

Principal causa da acidificação oceânica, a absorção de CO₂ na água, leva a consequente redução do pH. Neste processo, o CO₂ é difundido passivamente na superfície da água do mar, formando ácido carbônico (H₂CO₃) que posteriormente se dissocia em íons de hidrogênio (H⁺) e bicarbonato (HCO₃⁻). A elevada concentração de íons H⁺ causa a redução do pH (Sabine et al, 2004; Widdicombe & Spicer, 2008; Dickson, 2007).

Segundo Orr et al (2005); IOC/UNESCO, IMO, FAO, (2011), a diminuição de pH das águas oceânicas acaba por alterar o sentido de algumas reações químicas fundamentais para o desenvolvimento de organismos calcificadores, fazendo com que o carbonato dos ambientes marinhos se ligue com os íons H⁺, ficando menos disponível para a formação do carbonato de cálcio. Assim é esperado que a acidificação progressiva impacte no processo de calcificação utilizado por vários organismos marinhos na produção de suas partes duras, como conchas ou exoesqueletos, dentre os quais os plânctons, moluscos, crustáceos e corais.

Este processo torna a água do mar mais corrosiva para os organismos que produzem conchas e outras estruturas calcárias, podendo afetar também a sua

reprodução, fisiologia e distribuição geográfica. Caso o ritmo atual da acidificação oceânica seja mantido, dentro de poucas décadas a água do mar em regiões tropicais não sustentará mais o desenvolvimento de ecossistemas coralinos, por exemplo. Isto levará à perda de biodiversidade e a impactos econômicos ligados aos recursos pesqueiros e atividades relacionadas ao turismo (Orr et al, 2005).

Nos últimos anos, em relatórios publicados de 2014 a 2018 a ONU e o IPCC tem alertado para a questão de que nossos oceanos estão prestes a passarem por uma transição sem precedentes em virtude do aumento na temperatura das águas, da intensificação da acidificação oceânica e da queda na qualidade e quantificação do plâncton e outras criaturas marinhas que formam a base da cadeia alimentar.

Além do carbonato, Alves (2014) demonstrou que a acidificação dos oceanos pode alterar os fluxos biogeoquímicos de nutrientes como nitrato e nitrito, também processos de remineralização de carbono orgânico, alterando a dinâmica de degradação de possíveis outros poluentes no local, bem como o ciclo de vida de algumas espécies bênticas. Seu desaparecimento ou redução poderá impactar em grande escala a existência de outras espécies ou até contribuir para um desequilíbrio socioeconômico, uma vez que os recursos pesqueiros formam uma fonte significativa de recursos para muitas comunidades.

Em seus trabalhos, Achterberg et al (2003); Braungardt et al (2003); Canovas et al (2010) (2016); Macias et al (2017); Nieto et al (2006); Sanches-Rodas (2005), observaram efeitos das drenagens ácidas oriundas de áreas de mineração no estuário de Huelva – Espanha, na redução do pH, tendência de acidificação e migração de metais dissolvidos e floculados das áreas continentais para as áreas costeiras. A diminuição do pH e conseqüente acidez das áreas costeiras, favorece a permanência dos metais também oriundos das atividades de mineração na forma dissolvida, favorecendo a biodisponibilização dos mesmos. Esses trabalhos e outros destacados na Tabela 1 ressaltam a DAM como contribuinte para a acidificação dos oceanos.

Tabela 1 - Síntese de publicações avaliadas que abordam estuários impactados por DAM, constando autores, objetivos, análises e testes realizados, resultados e conclusões bem como outras informações relevantes extraídas das mesmas.

Autores	Objetivos	Análises e Testes	Resultados e Conclusões	Outras Informações
Achterberget al. (2003)	Avaliar o comportamento dos metais Cd, Cu e Zn na coluna d'água em estuário	Huelva – Espanha. Análises de Cd, Cu Zn, pH, Sal, OD e MPS no estuário. Realizou 2 campanhas em 11 pontos e experimento	Metais dissolvidos tiveram maiores concentrações na coluna d'água na parte superior do estuário, com baixa salinidade. MPS tem cargas positivas com salinidade de 0 a 4, e pH menor que 3.	Tempo de retenção no estuário, leva óxidos de Fe a imobilizar outros metais. Este longo tempo de retenção faz com que o estuário tenha uma carga histórica de poluição

	impactado por DAM.	de desorção de metais. Avaliou dados por análise estatística.	Experimentos mostraram que metais precipitados na ZMT podem ser resolubilizados na zona costeira, mesmo com aumento da salinidade.	armazenada. Se os sedimentos tiverem uma boa carga de matéria orgânica, poderá com o tempo ocorrer diagênese dos mesmos, aprisionando os contaminantes.
Braungardte <i>et al.</i> (2003)	Investigar processos biogeoquímicos que controlam os metais na zona de mistura do estuário de Huelva.	Huelva – Espanha. Amostras de água coletadas no estuário em 4 campanhas, uma por estação em 11 pontos. Análises de metais, OD, pH, eH, Cond/Sal, Temperatura. Avaliou dados por análise estatística.	Concentrações de metais são maiores no outono e início de inverno (chuvas de inverno) e mais baixas na primavera, verão. Baixas temperaturas do inverno e a diluição com as chuvas de inverno, minimizam a percepção da DAM. Variações sazonais são encontradas em Huelva. Valores neutros de pH só são obtidos com salinidade maior que 30.	No verão, o calor faz com que haja intensa geração de acidez pelas bactérias, ocorrendo o “run-off” com as chuvas outono/inverno. Com pH baixo, há pouca precipitação de metais no estuário. Qualquer redução do escoamento da DAM, leva a um aumento do pH no rio, resultando em uma maior precipitação de hidróxidos de Fe e Sulfatos.
Canovaset <i>al.</i> (2016)	Investigar o incremento de acidez na Barragem Sancho nos últimos 20 anos.	Barragem Sancho, Huelva – Espanha. Compilou análises existentes em diferentes profundidades e análises de sedimento coletadas em diferentes épocas. Análises físico químicas, e metais. Avaliou dados por análise estatística.	Foi observada progressão da acidez desde 2003, com diminuição do pH e aumento dos metais dissolvidos do reservatório. Maior incremento ocorreu devido ao “efeito rebound” com o fechamento da mina em 2001. Variações nas condições devido pluviosidade e run-off ao longo do ano.	Análises químicas e a datação dos sedimentos identificou um enriquecimento progressivo em S e metais (Fe, Zn Cu, Ni, Co e Cd) nos 20 cm superiores, que reforçam o início da acidificação do reservatório.
Canovaset <i>al.</i> (2010)	Monitorar como se dá o processo de “wash-out” de sais piríticos nas primeiras chuvas de outono na região do IPB.	Huelva - Espanha. Análises de metais, sulfatos, pH, eH cond., temperatura e vazão com ICP-AES no Rio Tinto. Análises de água, durante 1 mês, a cada 2-4-6 horas, dependendo da pluviometria.	No período avaliado (Outubro de 2005), o rio Tinto transportou cerca de 8100 t SO ₄ , 1300 t Fe, 400 t Al, 100 t Zn e Cu, etc para a região estuarina.	No primeiro evento de chuva, as concentrações diminuem, devido a diluição. Após o primeiro evento, houve forte aumento de As, Fe, Cr e Pb, provavelmente devido à redissolução transformação de oxihidroxissulfatos de Fe. Depois do terceiro evento pluviométrico as concentrações tendem aos níveis normais.
Galvan <i>et al.</i> (2009)	Estimar a carga poluente de DAM transportada pelo rio Meca para o reservatório da Barragem Sancho – Espanha, pelo uso de modelagem SWAT.	Barragem Sancho, Huelva – Espanha. Análise a partir de Modelo SWAT e realizou amostragens de água em 3 pontos da bacia, durante os períodos chuvosos em 2 anos. Análises físico químicas, metais e vazão. Comparou SWAT com dados de campo para calibração do modelo por estatística.	Após modelagem concentrações de diferentes elementos foram comparadas com as amostragens hidroquímicas, o que permitiu validar o modelo e estimar a carga poluidora transportada para o reservatório: 418 ton / ano de Al, 8024 ton / ano de SO ₄ , 121 ton / ano de Zn, etc.	Modelo hidrológico combinado com dados de qualidade da água permitiram estimar como a poluição pela AMD pode gerar cargas enormes de contaminantes sendo despejadas no reservatório. O comparativo entre simulado e medido foi executado, sendo que alguns ajustes no modelo foram necessários principalmente para períodos chuvosos para que o mesmo fosse aplicável.
Chinhet <i>al.</i> (2007)	Avaliar o ciclo de produção de carvão antracito no Vietnã, indicando os “hot spots” para prevenção de	Quang Ninh -Vietnam, Minas localizadas na zona costeira de Ha Long Bay (Património Mundial da UNESCO) por possuir características	Onde o antracito é explorado, os problemas afetam não só o local de mineração mas também a área costeira e o oceano. O escoamento na estação chuvosa faz as águas ácidas e carregadas de metais chegarem	A maioria dos impactos vêm da extração de carvão. Os maiores impactos são o pó (carga e descarga de carvão, transporte e armazenamento, baixo pH

	danos ambientais.	geológicas incomuns, rica biodiversidade marinha e costeiras. Utilizou metodologia conceitual de análise do ciclo de vida para descrever impactos ambientais da cadeia do carvão.	a área costeira. pH em torno de 3,5 , alta concentração de metais, etc.	e traços de metais nas águas residuais das minas. Estudos são necessários para melhorar a eficiência de extração e consumo de materiais.
Macias <i>et al.</i> (2017)	Propor estratégias para remediação das águas do rio Odiel (afluente do estuário Huelva) antes destas chegarem ao futuro reservatório de Alcolea, evitando a acidificação do mesmo.	Barragem Alcolea Huelva - Espanha Foi realizada revisão bibliográfica dos dados de hidro química disponíveis (Físico-químicas e metais). Os dados foram inseridos em modelagem PHREEQC. Foram modelados 2 cenários: Atual x Com medidas de minimização da DAM.	Trinta e duas descargas de DAM de 30 minas diferentes localizadas nas sub-bacias de Odiel e Oraque foram modeladas. A validação do modelo evidenciou algumas limitações (incapacidade de modelar processos de transporte reativos, oxidação do Fe e processos de evaporação das águas). O desempenho de testes de injeção de traçador juntamente com sinóticos amostragens nestes cursos de água é sugerido para validação.	Em base dos resultados positivos obtidos após mais de 10 anos de desenvolvimento de uma tecnologia de remediação passiva específica (substrato alcalino disperso (DAS) para os rios da região, uma estratégia de restauração é proposta. A implementação de 13 plantas de tratamento DAS ao longo das sub-bacias de Odiel e Oraque e outras medidas de restauração de dois riachos ácidos são propostas essenciais para obter uma boa qualidade da água no futuro Alcolea reservatório.
Nieto <i>et al.</i> (2006)	Apresentar uma estimativa da variação transportada de contaminantes em função da sazonalidade pelos rios Tinto e Odiel entre fevereiro de 2002 a setembro de 2004. Realizar testes de bioacumulação com os sedimentos do estuário para medir a mobilidade dos metais tóxicos.	Huelva – Espanha. Coletas de água (Físico-químicas e Metais) com periodicidade semanal em 2 pontos nas entradas do estuário e amostra única de sedimentos no centro do estuário (Sal. 10-20) e na área costeira (Sal. 20-30). Análise de toxicidade no sedimento feitas com mariscos. Avaliou também bioacumulação nos mariscos. Avaliou dados por análise estatística.	Tinto e Odiel transportam uma grande quantidade de metais para o estuário: 7900 t/ano (Fe), 5800 t/ano (Al), 3500 t/ano (Zn), 1700 t/ano (Cu), 1600 t/ano (Mn). pH mais baixos registrados na estação seca ~2.8 e ~5.0 na estação chuvosa. Os resultados mostram que a concentração de metais no corpo total dos mariscos expostas aos sedimentos aumentam para todos os metais quando a salinidade é diminuída.	Estes os valores representam 37% do fluxo bruto global de Zn dissolvido transportado pelos rios para o oceano e 15% do fluxo bruto global de Cu. O aumento da salinidade no estuário favorece a adsorção e aprisionamento de metais. Por essa razão, a mobilidade e a biodisponibilidade de metais como Zn, Cd e Cu é maior em sedimentos localizados na área de influência da água doce que em sedimentos localizados na área de influência marinha do estuário, mostrando um maior porcentagem de bioacumulação desses metais na estação influenciada pelo ambiente de água doce.
Sanches-Rodas. (2005)	Avaliar a distribuição espécimes de arsênico (As III, As V, MMA e DMA) em amostras de água de rios e estuário para compreensão de possíveis transformação química e biológicas deste tóxico elemento.	Huelva – Espanha. Cinco campanhas de coleta: 2em Dez/2000 e 3 em Jul/2001 em 20 pontos, nos rios e estuário. Avaliou As nas diversas formas, metais, pH, salinidade, potencial redox e OD. Avaliou dados por análise estatística.	Concentrações de As dissolvido são maiores no período do inverno. No verão, com a oxidação o As precipita. Nas áreas de mineração o As é maior que nos rios. Concentração no estuário são mais baixas que nos rios. A descarga de uma fundição de cobre produziu a maior nível de arseniato de todas as amostras no estuário e também a única amostra com concentração significativa de arsenite.	Indicou que os rios Tinto e Odiel representam uma principal fonte de espécies de arsênico em suas estuário. No caso do estuário, o principal insumo é arsenato, proveniente da água ribeirinha, sedimentos subjacentes e atividade industrial local, também responsável pelo arsenito encontrado em um local de amostragem. Além disso, é perceptível que, embora os dois rios são muito próximos, sua química de arsênico é diferente.

Villa et al (2011)	Apresentar a evolução temporal dos isótopos de urânio de 1989 a 2005 a partir da concentração dos isótopos de urânio medido nos sedimentos do leito do rio e na água do rio. Estudar o comportamento do Urânio neste período.	Huelva – Espanha. Quatro (4) campanhas de coleta em 17 pontos nos rios Odiel, Tinto e Estuário T+O (1999, 2001, 2002 e 2005. Análise de ²²⁶ Ra, ²¹⁰ Pb, U e Th isótopos, metais, pH e físico-químicas em água e sedimentos. Avaliou dados por análise estatística.	Foram encontradas concentrações aumentadas de isótopos de urânio em água e sedimentos até 1998, quando existia emissão de “fotogesso” por indústria local. A mudança repentina do pH da água para valores neutros provoca a precipitação do metais transportados pelas águas das áreas de mineração e aumenta sua acumulação em sedimentos.	Nos sedimentos do estuário, a diminuição do urânio ao longo dos anos é mais lenta do que para rádio ou chumbo. Um período de 60 anos será necessário para diminuir as concentrações de urânio para níveis de fundo no rio Odiel, e um período mais longo será necessário para todo o estuário. A alta acumulação de metais nos sedimentos é encontrada em grandes áreas do estuário, onde o pH aumenta para valores neutros devido à ação das marés.
Valente et al (2016)	Avaliar o estado ecológico, e físico-químico de 4 (quatro) diferentes reservatórios de água impactados por DAM. Caracterizar a comunidade de bentônicos e detectar suas relações com a hidroquímica propriedades sedimentares, compreendendo o papel destes como indicadores de contaminação.	Barragens de água para irrigação em Huelva - Espanha. Coletas de água nos 4 (quatro) reservatórios nas estações chuvosas, por análises quinzenais entre outubro 2011 e maio de 2012. Análises físico-químicas e metais em água e sedimentos coletados em amostra única nas 4 estações de coleta de água, avaliado metais e mineralogia. Algas e bentônicos coletados junto aos sedimentos também avaliados.	Os resultados indicaram que os quatro reservatórios estão sujeitos ao efeito de cargas de rios contaminados, embora com níveis diferentes: Águas Ácidas> Gossan> Sancho ≥ Andévalo. O menor pH foi 2.31 no Águas Ácidas, e o maior 6.15 no Andévalo.	O estudo da abundância e diversidade de diatomáceas bentônicas mostrou que as diatomáceas acidofílicas (<i>P. acidophila</i> e <i>P. aljustrellica</i>) são dominantes nas duas barragens de mineração (Águas Ácidas e Gossan), onde os dados sobre a hidroquímica e a geoquímica de sedimentos colocou em evidência a contaminação por AMD.

Fonte: O Autor

2.2 Carvão mineral catarinense, geração de energia e impactos ambientais

A bacia carbonífera catarinense, abrange os municípios de Grão Pará, Orleans, Lauro Muller, Urussanga, Siderópolis, Criciúma, Içara, Balneário Rincão, Nova Veneza, Maracajá, Araranguá, Forquilha e Treviso, englobando parte das bacias hidrográficas dos rios Araranguá e Tubarão, e a totalidade da bacia hidrográfica do rio Urussanga (BRASIL, 2016).

O estado de Santa Catarina figura em destaque no cenário nacional, em virtude de historicamente possuir reservas lavráveis de carvão mineral, do tipo energético e metalúrgico, com jazidas facilmente acessadas a poucos metros da superfície. Fato este, levou a implantação de uma pujante indústria da extração e beneficiamento do carvão principalmente a partir da década de 40 quando começou a ser implantado o

parque siderúrgico nacional. Desde então, vários municípios da região sul catarinense foram criados e desenvolveram-se em função desta atividade, tendo sua economia fortemente dependente desta (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

Durante todos os anos de exploração, diversas empresas e unidades de mineração foram abertas, aumentando exponencialmente os danos da atividade. Grande parte dos passivos ambientais decorrentes da atividade de mineração de carvão foram causados em uma conjuntura econômica diferente da atual, onde a atividade de extração de carvão foi incentivada por ações governamentais fomentadoras da produção de carvão energético e metalúrgico, muitas vezes executadas sem quaisquer preocupações de cunho ambiental e social, vindo fundamentalmente apenas para atender às necessidades econômicas do país (BRASIL, 2016).

Segundo Lopes; Santo; Gallato (2009), a maior parcela da produção é destinada a geração de energia elétrica nas plantas termelétricas do Complexo Jorge Lacerda localizado em Capivari de Baixo - SC, situação que persiste desde a década de 90, quando o setor carbonífero foi desregulamentado e privatizado pelo governo federal, levando praticamente a zero a produção de carvão para fins metalúrgicos no país.

A medida que as reservas locais eram exauridas, e novas unidades de mineração eram abertas, as mineradoras simplesmente “abandonavam” as antigas áreas, deixando para trás expostas ao ambiente pilhas de rejeito, estéreis, lagoas, cavas, antigos pátios operacionais e bocas de mina para acesso as jazidas em subsolo, tornando-se estes um grande passivo ambiental a ser reparado (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

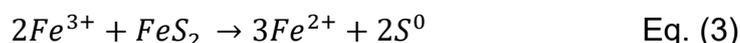
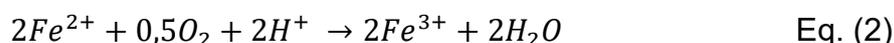
Conforme BRASIL (2005), na década de 80, com o clamor popular, e um considerável amadurecimento mundial para as questões ambientais, foram criadas regulamentações federais, que estabeleceram o conceito de impacto ambiental e as diretrizes para o licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente, entre elas, a Resolução n°. 01 do CONAMA, de 22 de janeiro de 1986, onde as empresas mineradoras da região também iniciaram a adequação de suas atividades de exploração a um novo cenário mundial.

Para Romano Neto et al. (2017), a mineração de carvão em Santa Catarina ocasionou impactos ambientais no solo, nos recursos hídricos e meio biótico em

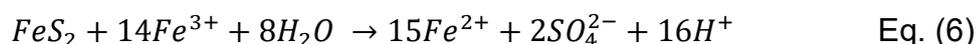
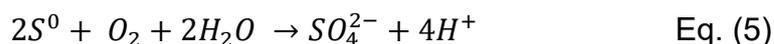
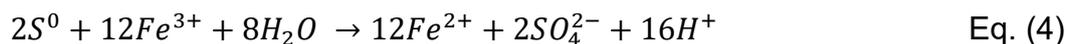
aproximadamente 5.739 hectares distribuídos nas bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão. Os principais impactos estão relacionados a aqueles decorrentes da drenagem ácida de mina (DAM) que resulta das reações de oxidação e hidrólise dos minerais sulfetados de depósitos de rejeitos, estéreis de mineração a céu aberto e de bocas de minas abandonadas.

Para Lopes; Santo; Gallato (2009), sem dúvida a DAM é o mais preocupante problema ambiental da bacia, especialmente quanto a sua agressividade e a intensidade com que contamina solos e águas, destruindo habitats terrestres e aquáticos.

De acordo com Singer e Stumm (1970 apud MELLO e ABRAHÃO, 1998), a DAM é resultante de processos que envolvem reações de oxidação de sulfetos. Entre os minerais capazes de produzir a DAM, podemos citar a calcopirita (CuFeS_2), a pirotita (FeS), a arsenopirita (FeAsS) e, a principal, a pirita (FeS_2). A DAM é formada a partir de uma sequência de mecanismos de oxidação dos sulfetos, na presença do oxigênio, água e bactérias, como segue as equações 1, 2 e 3 abaixo:



Se o pH for maior do que 3, a oxidação do $\text{Fe}(\text{OH})_3$ começa a ocorrer (equação 2). O enxofre elementar (S), resultante da oxidação da pirita é oxidado pelo íon férrico, então, o enxofre elementar é oxidado pelo oxigênio (equação 4), caso em que o S produzido de acordo com a equação 3 é convertido a sulfato por bactérias *Thiobacillusthioxidans*.



O Fe^{2+} (ferro ferroso) produzido é submetido a uma nova ação microbiana por *Thiobacillus ferroxidans*, de acordo com a equação 2, configurando-se um ciclo onde o Fe^{3+} (ferro férrico) resultante da atuação microbiológica reage com a pirita na

equação 6, mantendo o ciclo constante até que a pirita disponível aos agentes da reação seja toda consumida no processo.

O processo de oxidação da pirita descrito na equação 6, resulta na liberação de sulfatos (SO_4^{2-}), e íons H^+ no meio aquoso, causando a consequente redução do pH do meio, aumentando a capacidade destas águas em solubilizar metais constituintes das argilas do solo, acarretando na lixiviação de alumínio, manganês, cálcio, magnésio, entre outros (ECP, 1982).

Segundo Alexandre (2000), desta reação de oxidação da pirita resultam as águas extremamente ácidas na extensão dos rios Mãe Luzia e dos Porcos, afluentes do rio Araranguá refletindo-se diretamente na qualidade ambiental do estuário. A condição natural de um ambiente estuarino seriam águas levemente básicas ou neutras em função dos sais alcalinos provenientes do oceano.

Os estudos (DNPM, 1958); (CETESB, 1974); (FATMA, 1976); (ECP, 1982); (FATMA, 1991); (DNPM, 1991); (FATMA, 1996); (SANTA CATARINA, 1997); (DNPM, 1999); (ALEXANDRE, 2000); (UNESC/DNPM/SIECESC, 2004); (SIECESC/SATC, DNPM, CPRM (2006)); (BRASIL 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017); e (PMA, 2011), apresentam uma série de medições de pH, com objetivos distintos já realizados na região.

Considerando 74 medidas realizadas nestes estudos junto a foz do rio Mãe Luzia, no início do estuário do rio Araranguá, o pH médio foi 3,0. Já para a região do baixo estuário, o pH médio ficou em 4,5 num total de 45 medições realizadas próximo a “Balsa”.

Alexandre (2000) destaca ainda que o pH, não é propriamente um poluente, mas é considerado um parâmetro indicador de qualidade das águas. Valores de pH abaixo de 6,0 já são de algum modo restritivos à vida aquática, sendo que quanto mais baixo este valor, menor a possibilidade deste meio ser povoado por organismos aquáticos.

Desde o ano 2000, por força de uma Ação Civil Pública, as empresas mineradoras, os governos federal e estadual, a população regional e as universidades locais vêm unindo esforços para tentar recuperar este grande passivo (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009). Dentre as ações que vem sendo realizadas regionalmente para minimização de seus impactos, se destaca a atuação de diversas de empresas de engenharia nacionais e internacionais, incluindo universidades para a realização

de diagnósticos ambientais, projetos de controle ambiental, programas de recuperação de antigas áreas impactadas, e o consequente monitoramento ambiental destas, com foco na solução dos problemas ambientais gerados pela atividade (ROMANO NETO et al., 2017).

Conforme Romano Neto et al. (2017), do total de 5.739 hectares de áreas com passivos ambientais da mineração, no período compreendido entre 2005 a 2015 em 57% destas houveram intervenções para a deposição de argila e vegetação introduzida sobre estéreis e rejeitos anteriormente expostos a céu aberto, diminuindo potencialmente a geração de acidez para os recursos hídricos das três bacias atingidas.

Segundo Corrêa et al.(2017), atualmente a lavra de carvão mineral na bacia carbonífera de Santa Catarina é realizada com série de cuidados nas questões econômicas, social e ambientais, sendo que a cadeia produtiva do carvão foi adequada visando o cumprimento de normas de segurança e ambientais vigentes, haja vista os impactos deixados no passado.

Ainda assim, pode-se estimar, que por aproximadamente mais de 50 anos de atividade carbonífera executada sem controles ambientais (1920-1980), os estuários e zona costeira da região compreendida entre a foz dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá, receberam ou ainda recebem toneladas de acidez e poluentes oriundos da mineração e beneficiamento do carvão. Em consequência deste fato, aliado a outros, os estuários foram fortemente impactados, sendo visível a diminuição da atividade pesqueira na região, com consequente perda da qualidade de vida e com reflexos visíveis na economia das vilas e municípios da região com grande participação da pesca artesanal, com impactos também na diversidade e quantidade dos demais espécimes da fauna e flora local (VOLPATO; MENEZES; SILVA, 2017).

3 METODOLOGIA

A proposta deste estudo contemplou a realização de um levantamento bibliográfico e documental a fim de compor um banco de dados já publicados em outros trabalhos e levantamentos executados na área de estudo.

3.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Araranguá localiza-se no sul catarinense, e tem uma área de drenagem de aproximadamente 3.039km², com um comprimento total de rios em torno de 5.021km. O rio Araranguá recebe esta denominação após a junção das águas dos rios Itoupava e Mãe Luzia. Sendo os afluentes mais importantes do rio Itoupava os rios da Pedra, Amola Faca, Turvo e Jundiá, e do Mãe Luzia os rios Guarapari, São Bento, Cedro, Manoel Alves, Sangão e Fiorita. Após a junção das águas do Itoupava com o Mãe Luzia, o rio Araranguá recebe apenas mais um afluente considerável, próximo a sua foz, o rio dos Porcos (BACK, 2009).

Para D'Aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010) as principais atividades econômicas da região são a indústria de mineração de carvão e a agricultura, especialmente as plantações de arroz irrigado. Ambas atividades, geram poluentes que impactam toda a bacia, podendo-se destacar a grande carga de acidez oriunda da oxidação da pirita presente no carvão, que reflete a uma condição de solubilização de metais até no estuário do rio Araranguá.

A rizicultura também é uma fonte de poluição para o rio, tendo como principais impactos o grande consumo de águas em um período de 4 meses, e o possível descarte de águas carregadas de fertilizantes e defensivos agrícolas, porém os impactos decorrentes da exploração do carvão se destacam pelo elevado grau de poluição dos recursos hídricos (BACK, 2009).

Os efluentes domésticos (esgotos sanitários) e resíduos sólidos domésticos (lixo) gerados pela da ocupação antrópica, também são potenciais fontes de contaminação na BHRA. Embora as regiões centrais de alguns municípios da bacia já possuam redes de coleta e estações de tratamento de esgoto, bem como coleta de resíduos e disposição final em aterros controlados e ou sanitários, a grande maioria das áreas interiores ainda se utiliza do descarte dos efluentes sanitários diretamente

em córregos e rios, ou ainda da queima dos resíduos sólidos e/ou deposição dos mesmos a céu aberto em propriedades rurais e regiões não atendidas pela coleta. Tais situações acabam por contribuir ainda mais com o agravamento da condição ambiental do rio Araranguá, aliada a diversidade de atividades industriais, principalmente nos municípios de Criciúma, Araranguá e Içara (ALEXANDRE, 2000; BACK, 2009).

Segundo Alexandre (2000), a mineração de carvão prejudicou diretamente a qualidade das águas das sub-bacias dos rios Mãe Luzia e dos Porcos e indiretamente o rio Araranguá, tornando-as impróprias para os seus diversos usos, com pH abaixo de 3,0 em alguns trechos e elevadas concentrações de sulfatos, acidez e metais. Tem-se ainda o agravante que parte dos sólidos transportados pelo rio constituem-se de elementos de origem inorgânica, metais, provenientes das áreas da mineração. Estes têm a tendência de encontrar-se na forma dissolvida enquanto o pH do rio se mantém baixo. O contato com águas de origem marinha eleva o pH do meio, fazendo com que o material dissolvido flocule e se deposite.

Segundo D'Aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010), o estuário apresenta uma profundidade média de 7,2m ao longo dos 27km entre sua desembocadura e a cidade de Araranguá-SC. O canal do rio é bem definido, sem a presença de bancos de areia ou planícies intermareais. A largura é de 170m próximo a desembocadura, sendo que a mesma reduz gradativamente em direção a montante chegando a 80m na cidade de Araranguá (Figura 3).

Figura 3 - Localização do estuário do rio Araranguá, no sul de Santa Catarina. O rio Araranguá é formado pela confluência dos rios Mãe Luzia a norte, e Itoupava a sul. Está inserido nos municípios de Araranguá e Maracajá no sul do estado.



Fonte: Google Earth (2018), modificado pelo autor.

D'Aquino, Pereira Filho e Schettini (2010), observaram que na região estuarina da BHRA, mesmo com a influência da intrusão da água costeira, o pH permaneceu ácido em todo seu experimento, sendo os maiores valores verificados quando dos períodos de maior salinidade, refletindo a influência do poder “tampão” da água do mar no sistema, comportamento já observado em outros estuários sujeitos a descargas de DAM. O valor baixo do pH nestes ambientes, favorece a migração de metais na forma dissolvida para a região costeira, uma vez que o pH baixo, dificulta a precipitação e decantação dos mesmos no trecho estuarino.

Barreto e Schettini (2014), destacam que as marés não desempenham um papel relevante como determinante da hidrodinâmica no estuário do rio Araranguá. Durante os períodos de baixa descarga fluvial a hidrodinâmica é regida pelo ajuste baroclínico, apresentando a camada superior ativa em função da descarga fluvial, e a camada de fundo semi-estática com velocidade baixa para montante.

Próximo a desembocadura, o leito do estuário é composto principalmente por areia, sendo que próximo a cidade de Araranguá e em direção a montante, a fração lamosa se sobressai chegando a 84% do material. Quantidades consideráveis de matéria orgânica são encontradas em todo o trecho (D'AQUINO; PEREIRA FILHO; SCHETTINI, 2010).

O estuário do rio Araranguá apresenta grande variabilidade temporal e baixo padrão sazonal (D'AQUINO; PEREIRA FILHO; SCHETTINI, 2010). O mesmo estudo revelou que a ocorrência de eventos hidrológicos se reflete na porção estuarina do rio Araranguá, sendo que a dinâmica estuarina muda rapidamente de acordo com os mesmos. Em um evento de alta precipitação após um período de estiagem, o estuário permaneceu verticalmente mais homogêneo, predominando as correntes de vazante e, após o evento meteorológico as correntes voltam com padrão bi-direcional, circulação gravitacional e a presença de uma cunha salina.

Para D'Aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010), o padrão observado no estuário da BHRA é semelhante ao já conhecido e outros rios do estado. Por se encontrar em um regime de micro marés, e devido à ausência de sazonalidade climática, os padrões de descarga fluvial são abaixo da média, com picos distribuídos aleatoriamente.

O encontro de água doce do rio e de água salgada do mar, em regiões de micro-maré e dominadas pela descarga fluvial e pelo processo de entranhamento,

como no caso do estuário do rio Araranguá é classificado como um estuário de cunha salina, ou altamente estratificados (Miranda, 2002).

A descarga fluvial é o reflexo das condicionantes climáticas de cada região, bem como das dimensões da bacia de drenagem de cada sistema. Nas regiões tropicais e temperadas a variação temporal do aporte de água segue padrões climáticos sazonais, ao passo que em zonas subtropicais estes padrões já não são tão evidentes havendo maior variabilidade interanual. As dimensões da bacia de drenagem refletem da regularidade do aporte, uma vez que bacias maiores apresentam maior tempo de resposta para variações meteorológicas. Bacias menores respondem rapidamente à eventos de precipitação tais como passagem de frentes frias ou tempestades de verão, e assim, constituindo uma componente característica aleatória na hidrodinâmica estuarina (PMA, 2011).

Villela & Mattos (1975), definem por tempo de concentração como sendo o tempo que a chuva, que cai no ponto mais distante de uma bacia, leva para atingir determinado ponto da secção. Assim, o tempo de concentração mede o tempo para que a bacia contribua através do escoamento superficial para a descarga fluvial naquela secção de drenagem considerada, a partir do início da chuva.

Santa Catarina (1997), estimou os tempos de concentração para a bacia hidrográfica do rio Araranguá através do método determinado por Euclides (1987), aplicando a formula de Giandotti (Equação 7):

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1,5Lw}{0,8\sqrt{Hm}-Ho} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde, T_c = tempo de concentração (h); A = área da bacia (km^2); Lw = comprimento do talvegue (km); Hm = altitude média (m); e Ho = altitude final (m). Através destes dados, Santa Catarina (1997), estimou os seguintes tempos de concentração para as mesobacias integrantes da BHRA:

- Rio dos Porcos – 67,88 horas;
- Rio Mãe Luzia – 165,66 horas;
- Rio Itoupava – 146,73 horas;
- Baixo Rio Araranguá – 64,48 horas.

Estuários altamente estratificados tendem a ser exportadores de sedimentos, contudo o padrão é variável em função da variabilidade da descarga fluvial. Mesmo em sistemas altamente estratificados, períodos de baixa descarga podem levar ao aumento relativo do papel das marés, e aumentar a capacidade de reter materiais (SCHETTINI & TOLDO, 2006).

Devido ao aumento do pH pela intrusão costeira, a região estuarina se torna marcada pela floculação de ferro, apresentando os característicos sedimentos de cor laranja precipitados. Este processo explica baixos valores de turbidez no estuário, uma vez que as águas ácidas ao encontrarem-se com a água costeira no estuário eleva o pH, apresentando as condições ideais para floculação dos sedimentos (D'AQUINO; PEREIRA FILHO; SCHETTINI, 2010).

Schettini; Toldo, (2006) verificaram no rio Araranguá as mesmas condições que já tinham sido observadas no rio Itajaí-Açu quanto ao regime de transporte de sedimentos finos no estuário, e o classificaram como dominado por enchentes relâmpago, onde sugeriram 2 modos de comportamento, o modo marinho e o modo fluvial: O modo marinho, quando em períodos de baixa vazão as marés controlam os processos de transporte, reduzindo o influxo de material particulado, e retendo-os no estuário. O modo fluvial, quando em vazão elevada, a retenção diminui, aumentando os materiais particulados em suspensão, exportando-os diretamente para a plataforma.

3.2 Coleta de dados

Durante 1 ano, no período de julho de 2018 a julho de 2019, foram realizadas campanhas semanais para coleta de dados de qualidade de água na região estuarina do rio Araranguá e zona costeira adjacente, compreendendo 52 campanhas. A cada campanha, foram amostrados 7 pontos, conforme Figura 4.

Figura 4 - Imagem aérea da região estuarina do rio Araranguá com a localização dos pontos de coleta em campo: Barra Velha, Morro dos Conventos, Balsa, Fazenda, BR 101, Itoupava e Mãe Luzia.



Fonte: Google Earth (2018), modificado pelo autor.

Em cada um dos pontos coletados, foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, condutividade/salinidade e oxigênio dissolvido. Estes parâmetros foram obtidos por leitura direta nos recipientes de coleta com equipamento Medidor multiparâmetro portátil Marca AKSO modelo AK87, equipado com as sondas/eletrodos para medição destes parâmetros.

Para medição de pH, o equipamento utilizado compõe-se de eletrodos de vidro em conjunto com eletrodos de referência, normalmente de prata ou cloreto de prata. O pH da solução é então determinado pela comparação entre o pH da solução padrão com o da solução desconhecida. A resolução CONAMA 357/2005 considera de forma conservadora uma faixa de pH de 6 a 8, para águas superficiais naturais (VASCONCELOS, TUNISI e TUNISI, 2009).

Além destes, informações complementares, como data, horário da coleta, condições climáticas, cor da água e transparência foram descritas de forma qualitativa pelo responsável pela amostragem no momento da coleta.

A coleta das amostras de água para determinação dos parâmetros físico-químicos se deu em superfície, através de um coletor plástico de 1 litro acoplado a haste alongável de 2 m, quando realizadas nas margens do rio e praia ou por balde plástico de 2,6 litros atado a uma corda de 15 metros de comprimento, quando da coleta realizada nos pontos localizados em pontes rodoviárias. A Figura 5 ilustra os trabalhos de campo realizados.

Em 2 dos 7 pontos amostrados, foi realizada de forma adicional coleta de água subsuperficial, em meio de coluna d'água em profundidade aproximada de 3m, através de bomba peristáltica portátil.

Figura 5 - Realização dos trabalhos de campo. A: Coleta realizada com o uso de coletor plástico de 1 litro com haste alongável de 2 metros a partir da margem do rio. B: Medições e notas complementares.



Fonte: O Autor.

3.3 Pontos de coleta

A extensão da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá, com a localização dos pontos de amostragem podem ser visualizadas na Figura 6. A seguir, uma descrição detalhada de cada um dos pontos é apresentada.

- Ponto 1 – Região costeira: Praia de Barra Velha (Balneário Rincão) – 28°52'48" S 49°17'08" W

Foram coletadas amostras superficiais da água do mar a altura do joelho, junto a praia do rincão, nas proximidades da Plataforma Sul com o objetivo de representar as características da água na região costeira norte a foz do rio Araranguá.

- Ponto 2 - Região costeira: Praia do Morro dos Conventos – 28°56'37" S 49°21'42" W

Foram coletadas amostras superficiais da água do mar a altura do joelho, junto a praia de mesmo nome, nas proximidades do posto de salva-vidas central com o objetivo de representar as características da água na região costeira sul a foz do rio Araranguá.

- Ponto 3 – Estuário do Rio Araranguá: Balsa – 28°55'19" S 49°22'02" W

Foram coletadas amostras superficiais e de meio de coluna d'água, junto ao local conhecido como Balsa com o objetivo de representar as características da água no baixo estuário do rio Araranguá a aproximadamente 8 km da foz.

- Ponto 4 – Estuário do Rio Araranguá: Fazenda São Jorge – 28°55'01" S 49°28'57" W

Foram coletadas amostras superficiais e de meio de coluna d'água, junto ao local conhecido como Fazenda São Jorge, a jusante do perímetro urbano da cidade de Araranguá com o objetivo de representar as características da água no médio estuário do rio Araranguá a aproximadamente 28 km da foz.

- Ponto 5 – Estuário do Rio Araranguá: BR 101 – 28°56'13" S 49°29'45" W

Foram coletadas amostras superficiais, junto ao local conhecido como ponte da antiga BR 101, a montante do perímetro urbano da cidade de Araranguá com o objetivo de representar as características da água no médio estuário do rio Araranguá a aproximadamente 31 km da foz, 2km a jusante da confluência dos rios Mãe Luzia e Itoupava.

- Ponto 6 – Rio Itoupava – 28°55'01" S 49°32'00" W

Foram coletadas amostras superficiais, junto ao local conhecido como barra do Jundiá, na ponte sobre o rio Itoupava, antes de sua confluência com o rio Mãe Luzia com o objetivo de representar as características das águas do rio Itoupava, que drena prioritariamente áreas destinadas ao plantio de arroz irrigado.

- Ponto 7 – Rio Mãe Luzia – 28°53'50" S 49°30'43" W

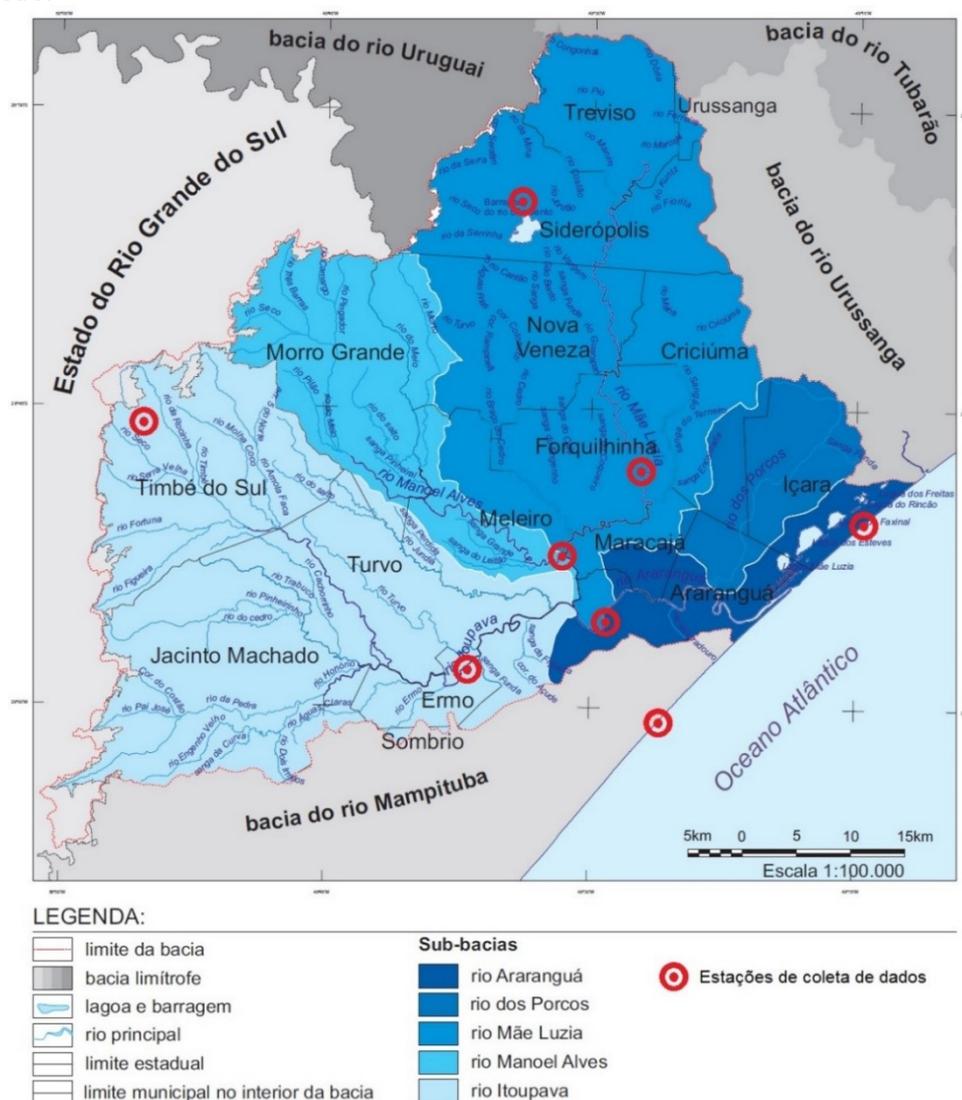
Foram coletadas amostras superficiais, junto ao local conhecido como Forquilha Grande, na ponte sobre o rio Mãe Luzia, antes de sua confluência com o rio Itoupava com o objetivo de representar as características das águas do rio Mãe Luzia, que drena as áreas carboníferas da bacia.

Assim, foram obtidos dados de pluviometria das últimas 24h, 72h, 168h (7 últimos dias e 336h (14 últimos dias) antes da campanha semanal, em 6 estações pluviométricas na bacia; dados de vazão dos rios (Mãe Luzia, Manoel Alves e Itoupava) no momento das coletas; dados de intensidade e direção do vento médio na hora anterior a coleta na foz do rio Araranguá; e dados de condição enchente ou vazante, sizígia ou quadratura e nível de maré no estuário do rio Araranguá, na hora da coleta na foz do rio Araranguá.

A localização das estações onde foram obtidos os dados secundários pode ser visualizada na Figura 7. A seguir, uma descrição detalhada de cada uma das estações é apresentada.

- Estação Pluviométrica “**Serrinha**” (1009), localizada próximo a barragem do rio São Bento, no município de Siderópolis esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina / Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia do Estado de Santa Catarina). Os dados desta estação têm o objetivo de representar a pluviometria no extremo noroeste da bacia. Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 135 metros.
- Estação Pluviométrica “**Timbé do Sul**” (2462), localizada no município de mesmo nome esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM. Os dados desta estação têm o objetivo de representar a pluviometria no extremo sudoeste da bacia. Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 658 metros.
- Estação Fluviométrica “**Forquilha**” (84820000), localizada junto ao rio Mãe Luzia, no município de Forquilha esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM, em parceria com a ANA (Agência Nacional de Águas), compondo a Rede Hidrometeorológica Nacional. Nesta estação foram obtidos além dos dados de Pluviometria a vazão do rio Mãe Luzia no momento da coleta. Os dados desta estação têm o objetivo de representar a pluviometria e vazão de drenagem do rio no centro-norte da bacia. A área de drenagem captada por esta estação é de aproximadamente 526km². Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 40 metros.

Figura 7 - Mapa das sub-bacias hidrográficas pertencentes a bacia do rio Araranguá e localização das estações de coleta de dados secundários: Estações pluviométricas, fluviométricas, marégrafo e anemômetro.



Fonte: PROJETO PIAVA SUL, (2011), modificado pelo autor.

- Estação Fluviométrica “**Foz do Manoel Alves**” (84853000), localizada junto ao rio Manoel Alves, no município de Meleiro esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM, em parceria com a ANA, fazendo parte da Rede Hidrometeorológica Nacional. Nesta estação foram obtidos dados de Pluviometria e vazão do rio Manoel Alves no momento das coletas. Os dados desta estação representam a pluviometria e vazão de drenagem do rio no centro da bacia. A área de drenagem captada por esta estação é de aproximadamente 355km² e ela encontra-se posicionada a uma altitude de 10 metros.

- Estação Fluviométrica “**Ermo**” (84949800), localizada junto ao rio Itoupava, no município de Ermo esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM, em parceria com a ANA, compondo a Rede Hidrometeorológica Nacional. Nesta estação foram obtidos os dados de Pluviometria nas 24h e 72h antecedentes as campanhas de campo, e vazão do rio Itoupava no momento das coletas. Os dados desta estação representam a pluviometria e vazão de drenagem do rio no centro-sul da bacia. A área de drenagem captada por esta estação é de aproximadamente 863km². Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 12 metros.
- Estação Pluviométrica “**Araranguá - INMET**” (4201406114H), localizada no município de mesmo nome esta estação é mantida e operada pela EPAGRI/CIRAM, em parceria com o INMET. Nesta estação foram obtidos os dados de Pluviometria nas 24h e 72h antecedentes as campanhas de campo. Os dados desta estação têm o objetivo de representar a pluviometria no centro da bacia, bem como no centro do estuário. Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 12,3 metros.
- Marégrafo “**Balneário Rincão**”, localizado no município de mesmo nome, é mantido e operado pela Plataforma de Pesca Praia do Rincão em parceria com a EPAGRI/CIRAM . Nesta estação foram obtidos os dados de Nível de Maré no momento da coleta e antecedente as campanhas de campo. Os dados desta estação tem o objetivo de representar a situação da Maré na região costeira do estuário do rio Araranguá no momento das coletas. Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 0 metros.
- Base de Observação Oceano e Atmosfera “**Plataforma de Pesca Entremares – Arroio do Silva**” (1066), localizada junto a plataforma de pesca Entremares, no município de Arroio do Silva esta estação é mantida e operada pela UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), em parceria com a Plataforma de Pesca Entremares e EPAGRI/CIRAM. Nesta estação foram obtidos os dados de intensidade e direção dos ventos dominantes na hora, e anterior as coletas. Os dados desta estação têm o objetivo de representar as condições do vento na região costeira da foz do rio Araranguá no momento das coletas. Esta estação se encontra posicionada a uma altitude de 7 metros.

3.5 Tratamento dos dados

Com a conclusão das coletas de dados em campo, e das estações vinculadas a rede EPAGRI/CIRAM e ANA, e a sistematização dos dados históricos extraídos dos trabalhos, projetos e estudos já publicados na área, utilizou-se o software Microsoft Excel 2013 a fim de estabelecer análise exploratória dos dados coletados.

A realização da análise exploratória permite a comparação de condições, análises, obter padrões, constatar anomalias entre os pontos e campanhas amostradas, a fim de reforçar o modelo do comportamento do estuário a ser proposto.

A análise exploratória realizada, utilizou estatística básica, tabelas, gráficos, diagramas, histograma de distribuição de frequências e medidas descritivas para examinar o formato geral da distribuição dos dados, verificar a ocorrência de valores discrepantes, identificar valores típicos e a variação presente nos dados amostrados.

Foram obtidas as medidas descritivas, do conjunto de dados com o objetivo de reduzir os dados a um pequeno grupo de valores que permitam estabelecer as medidas de tendência, medidas separatrizes, medidas de variação e formato, informando preferencialmente como os dados variam e como estes valores se distribuem. Entre os parâmetros avaliados, cita-se a média, mediana, moda e definição dos quartis. Entre as medidas de dispersão, dados de variância, desvio padrão, e coeficiente de variação foram definidos. Modelos de distribuição dos dados e formato das curvas igualmente foram estudados.

Ainda foram realizados testes de regressão linear simples e regressão não linear (logarítmica e exponencial) (468 cruzamentos foram testados), cruzando-se as variáveis analisadas entre elas, bem como em diferentes pontos, parâmetros, dados secundários obtidos entre outros, procurando relações existentes entre as mesmas.

Inicialmente, as equações que melhor representavam possíveis relações entre duas variáveis, primárias ou secundárias foram obtidas, permitindo fazer algumas previsões para as variáveis resposta. O coeficiente de determinação (r^2) com os dados brutos foi calculado para cada correlação, permitindo observar se as regressões eram adequadas. Curvas de comportamento dos diversos parâmetros em função do ano avaliado também foram traçadas, visando entender possíveis modificações e tendências nos parâmetros ao longo do período amostrado, tanto analisadas de forma segmentada (parâmetro x campanha de coleta), como também em conjunto com mais

parâmetros, permitindo avaliar mudanças significativas em determinados parâmetros que possivelmente alteraram outros parâmetros nas semanas seguintes.

Posteriormente, os dados discrepantes do conjunto, conhecidos por *outliers* foram descartados, buscando-se uma maior correlação entre os grupos e cruzamentos avaliados.

Para tal, os *outliers* foram identificados a partir da análise exploratória dos dados, baseado na amplitude interquartil (IQR). Calculando-se os quartis, do conjunto de dados, a amplitude interquartil é dada por $IQR = \text{Quartil } 3 - \text{Quartil } 1$. Com este valor, são estabelecidos os limites superiores e inferiores da amostra, através da seguinte equação: $\text{Limite} = \text{Média} \pm 1,5 \times IQR$. Quaisquer valores acima para limite superior, ou abaixo, para limite inferior, foram excluídos da amostra.

Os pontos foram agrupados conforme sua posição geográfica, levando em consideração a distância da área “fonte” de acidez e da foz do rio Araranguá, gerando 3 grupos, conforme classificação de Kjerfve (1987): Alto-Médio estuário (Ponto Mãe Luzia, Fazenda e BR 101), Baixo estuário (Ponto Balsa) e Zona costeira (Pontos Barra Velha e Morro dos Conventos). Após agrupamento, os mesmos foram cruzados na busca de relações entre grupos.

Os aspectos qualitativos visualizados e tomados nota durante a realização das campanhas de coleta em campo foram relacionados aos dados e tendências obtidas na análise estatística exploratória.

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando-se as bases científicas indexadas como Scielo, Periódicos CAPES, Science Direct, bem como documentos oficiais do Estado de Santa Catarina e das prefeituras da região de estudo, Estudos de Impacto Ambiental (EIA), acompanhados de seus Relatórios de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), de empreendimentos que abordem a área de estudo, bem como dissertações e teses nas universidades regionais.

Foram avaliados todos os estudos encontrados na busca. Uma síntese dos estudos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Síntese dos estudos já realizados na região estuarina do Rio Araranguá, constando autores, objetivos, análises e testes realizados, resultados e conclusões bem como outras informações relevantes extraídas destes.

Autores	Objetivos	Análises e Testes	Resultados e Conclusões	Outras Informações
DNPM (1958)	Caracterização Geomorfológica para	Avaliação Geomorfológica,	Realizadas análises em Araranguá, Hercílio Luz, Barra	Estudo mostrou viabilidade de construção de porto, se

	implantação de porto carvoeiro para CSN	dados de pH em superfície e Fundo.	Velha e Foz. pH já eram ácidos na época (1957)	realizadas obras de fixação da barra e constante dragagem
Cetesb (1974)	Diagnosticar ponto para lançamento de esgotos urbanos de Criciúma e Araranguá	Análises de água na localidade de Forquilha Grande. pH, Condutividade, Cloretos, STS, Sulfatos, DBO, Ferro, Cálcio e Magnésio	Exceto pelo pH do rio Mãe Luzia, outros parâmetros se mostraram pouco alterados inviabilizando o local para despejo.	-
FATMA (1976)	Verificar condições de poluição do local	Mesmos pontos e análises do estudo anterior da CETESB	Condições semelhantes ao estudo anterior.	Moradores informam que algumas espécies de peixes fogem das águas de carvão, em fortes enxurradas
ECP (1982)	Avaliar a condição da qualidade das águas, do solo e do ar em virtude da mineração do carvão no rio Mãe Luzia e no baixo rio Araranguá	Foram avaliados 13 pontos, em toda bacia hidrográfica, sendo um (1) na foz do Mãe Luzia, e dois (2) no baixo Araranguá. pH, Condutividade, Acidez, OD, STS, Sulfatos, Cadmio, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco.	Ponto da balsa registrou valores de pH entre 3 e 5, na cidade de Araranguá entre 2,5 e 3,5, e no Mãe Luzia, antes da mistura com Itoupava pH médio de 2,7.	-
FATMA (1991)	Avaliação de impactos da poluição do carvão	Mesmos pontos avaliados pela ECP em 1982. 6 campanhas, mesmos parâmetros. Adicionou também outros tributários, como o rio Manoel Alves e o rio Itoupava.	Condições se não piores, muito semelhantes as verificadas em 1983. Manoel Alves e o rio Itoupava demonstraram condições não impactadas pela mineração. A foz do rio dos Porcos, próximo ao baixo estuário do rio Araranguá, também foi avaliado, no entanto, este já com pH de 4 a 5.	Mesmo com a mistura com águas salinas na foz do rio dos Porcos o pH ficou ácido, uma vez que é impactado por áreas de lçara.
DNPM (1991)	Identificar trechos críticos de poluição e apontar alternativas de controle a serem adotadas	Em conveio com o JICA, realizou-se diagnóstico para remediação das áreas. Na BHRA ficou restrito ao Rio Fiorita.	pH sempre ácidos próximos as áreas de mineração.	-
FATMA (1996)	Monitoramento da qualidade das águas na BHRA.	7 campanhas, sem frequência determinada. 13 Pontos de amostragem e diversos parâmetros.	Destaca-se o pH médio do rio Araranguá em 1996, (3,4) em ponto junto a cidade de Araranguá, além de pH médio de 2,9 no rio Mãe Luzia, junto a cidade de Maracajá.	-
Santa Catarina (1997)	Levantamento para zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica da bacia do rio Araranguá.	Realizadas 2 campanhas de amostragem em 59 pontos na BHRA. Metais diversos, e demais análises físico químicas padrão.	pH entre 3 e 4 nos pontos localizados no rio Araranguá junto a cidade, entre 2 e 3 no rio Mãe Luzia junto a cidade de Maracajá. pH entre 6 e 8 nos pontos localizados nos rios Manoel Alves e Itoupava. Utilizada metodologia do IQA para avaliação da qualidade das águas.	Nas áreas de plantio de arroz, realizou-se análises de organoclorados, porém não encontrou-se nenhuma evidencia de contaminação.
DNPM (1999)	Programa de Prevenção a Poluição Hídrica Decorrente da Atividade da Mineração	Campanha única de amostragem em 61 pontos na BHRA, incluiu além de rios, efluentes de usinas de bem. Carvão, Cavas de mina e bacias.	BHRA fortemente impactada pelas atividades de mineração. Acidez das áreas de mineração, "sentida" até a foz, mais de 60km das áreas de geração.	Na foz do rio Araranguá, o pH foi (5,8) e na região da "balsa", o pH verificado foi (4,2 a 4,5) e na cidade de Araranguá pH 4,0, indicando condições muito ácidas no estuário.
ALEXANDRE (2000)	Análise integrada da qualidade das águas da BHRA	Repetiu os pontos analisados por DNPM 1999, análises de metais, físico-químicas básicas.	Realizou de 3 a 6 campanhas durante o ano de 1999. A condição pouco mudou do ano anterior, e não houve grande diferenciação entre as campanhas. Demonstrou uma	Realizou um amplo histórico dos monitoramentos já executados na BHRA até os dias atuais.

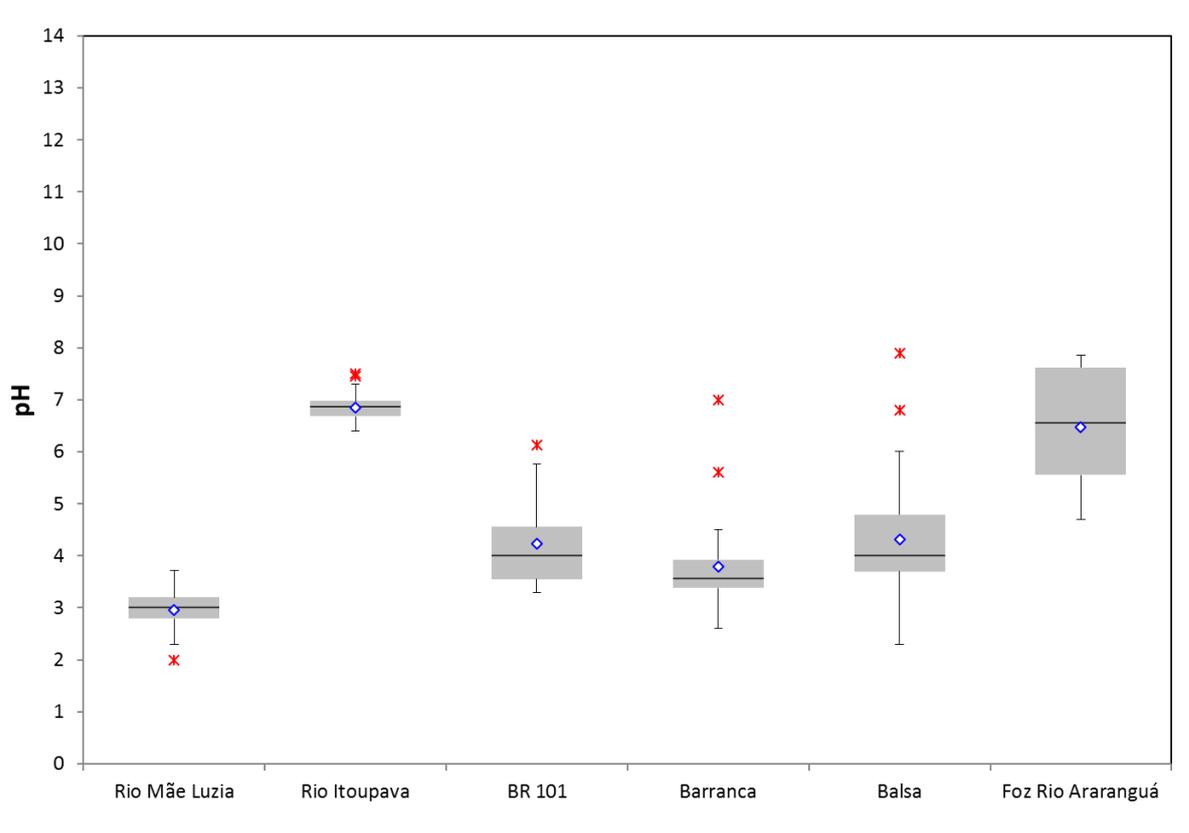
			bacia gravemente impactada pelos efluentes da mineração.	
UNESC/DNPM/SIECESC (2004)	Campanhas de monitoramento da qualidade das águas superficiais	Continuou com a avaliação dos pontos definidos por DNPM (1999), a fim de caracterizar uma possível evolução da qualidade de água na bacia, com o início das atividades de recuperação ambiental das áreas.	Um pH médio na região da "balsa" do Morro dos Conventos de 4,54, pH de 4,7 na foz do rio dos Porcos, 3,85 no rio Araranguá junto a ponte sobre a BR 101, e pH médio de 2,9 na foz do rio Mãe Luzia.	Importante início do monitoramento periódico executado pelas mineradoras na bacia.
SIECESC/SATC, DNPM, CPRM (2006)	Campanhas de monitoramento da qualidade das águas superficiais	Continuação do trabalho anterior, com a supressão de alguns pontos.	Condições continuaram semelhantes as anteriores, não havendo mudanças significativas. Monitoramento semestral passou a ser obrigatório, tendo em face a ação do MPF contra as mineradoras e união.	A partir da 12ª campanha, os pontos sob influência da maré foram excluídos da continuidade do monitoramento, "em razão das alterações verificadas na vazão e nos parâmetros físico-químicos pela ingressão da água do mar, dificultando uma análise qualitativa.
BRASIL (2007-2017)	Campanhas de monitoramento da qualidade das águas superficiais para cumprimento da Sentença ACP as mineradoras	Trabalho em curso para atendimento ao juízo. São monitorados aproximadamente 60 pontos na BHRA, com frequência semestral.	Nos últimos anos, algumas microbacias que tem passado por trabalhos de recuperação ambiental, tem apresentado melhoras significativas principalmente no aporte de acidez e metais. No entanto, ainda é cedo para se verificar mudanças aparentes no rio Mae Luzia.	Não há pontos no Rio Araranguá. Último ponto, localiza-se no rio Mãe Luzia, junto a cidade de maracajá.
PMA (2011)	EIA/RIMA para fixação da barra do rio Araranguá.	Foram realizadas algumas medições de pH no estuário e também na região costeira.	Na região costeira, ao tanto a norte quanto a sul da foz do rio Araranguá, em 2 campanhas realizadas, uma em inverno e outra em verão foram registrados pH entre 7,9 e 8,2.	Na região da "balsa" em medições únicas, foram registrados pH 4,69 durante o inverno e 5,54 no verão.

Fonte: O Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Reunidos todos os dados históricos de pH obtidos nos estudos descritos na Tabela 2, obteve-se junto a foz do rio Mãe Luzia 74 medições; 32 medições na foz do rio Itoupava ; rio Araranguá junto a BR 101, 13 medições; no rio Araranguá, próximo aos bairros Barranca e Volta Curta, 27 medições; 45 medições junto a “balsa no Morro dos Conventos” no rio Araranguá; e 10 medições na foz do Rio Araranguá junto a Barra e região de Ilhas . Os valores obtidos podem ser visualizados na Figura 8

Figura 8 - Distribuição dos dados de pH dos estudos históricos avaliados. Percebe-se a baixa variação no ponto Mãe Luzia, com pH baixo. Itoupava atuando como ponto branco e a partir do ponto BR101 até a Foz nota-se grande amplitude dos dados, evidenciando papel “tampão” das águas salinas frente as DAM.



Legenda: * Outliers; ▮ máximo entre os valores; ▮ mínimo entre os valores; – mediana; ◊ média; □ distância entre o 1º e o 3º quartil (50% das amostras).

Pelos estudos avaliados, constantes na Tabela 2 e sintetizados na Figura 8, o rio Mãe Luzia não tem apresentado grande variação ao longo do período avaliado (1981 a 2017), e pode-se dizer que dentre os pontos observados é o mais

severamente impactado pelas DAM oriundas das áreas de mineração, uma vez que, está mais próximo das áreas mineradas. A média de pH dos trabalhos anteriores (1981 a 2017), sem incluir as medições do presente trabalho, foi de 2,9 com valores máximos não ultrapassando 3,7 unidades, e mínimos chegando a 2,0.

No rio Itoupava, o valor de pH médio no período de 1974 a 2003 foi 6,8 com variações encontradas entre 6,4 e 7,5. O que representa uma condição de background natural das drenagens da região para este parâmetro, uma vez que este ponto não está sobre influência da mineração, pois drena áreas Sul-Centro da bacia, onde predominam a agricultura e outras atividades agrosilvipastoris.

Após a união do rio Itoupava, com o rio Mãe Luzia temos a formação oficial do rio Araranguá. Neste trecho, encontramos 2 pontos historicamente avaliados. O primeiro na passagem da BR 101 (traçado antigo) sobre o rio, a montante da área central da cidade de Araranguá, e o segundo no bairro Barranca, já no interior perímetro urbano central da cidade.

Nestes pontos, avaliados entre os anos de 1956 a 2010 conforme estudos da Tabela 2, observa-se uma variação um pouco maior nos dados quando comparados com os 2 pontos anteriores. O pH médio foi 4,2, com valores variando de 3,3 a 6,1 unidades dependendo de condições climáticas específicas. Neste trecho, deve-se considerar a variação nas condições de coleta dos trabalhos anteriores, por exemplo, coletas realizadas em períodos mais chuvosos, resultem em pH menos ácidos devido ao fator diluição, sendo verificado o contrário em períodos de estiagem. Ainda assim, o pH médio ácido foi observado na maior parte do tempo, em comparação com o ponto considerado “branco” (rio Itoupava), demonstrando o quanto as drenagens ácidas geradas próximas as cabeceiras da bacia, são refletidas neste ponto, a aproximadamente 50 km das áreas fonte.

Os dois últimos pontos com registro, Balsa e Foz do rio Araranguá, apresentaram coletas aleatórias entre 1956 a 2010, e são os que mais apresentam variância nos dados (houveram registros de pH desde 2,3 a 7,9 unidades). Com pH considerados muito ácidos para o local, o ponto Balsa teve uma média de 4,3 com valores mínimos alcançando 2,3. Devido sua proximidade com as águas salinas do oceano (aproximadamente 8 km), seria esperado para esta área pH acima de 7, pela atuação tampão das águas salgadas do oceano no estuário.

O comportamento hidrodinâmico do estuário explica essas variações. Como descrito em D'aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010), o estuário varia de parcialmente bem misturado à cunha salina, respondendo diretamente as variações de vazão. Assim, a presença de sais, atua com diferentes intensidades neutralizando o pH, conforme o padrão de mistura do ambiente estuarino. Desta forma, o ponto localizado na foz, praticamente já “dentro do mar”, com forte atuação de águas mais salinas, apresenta, dentre os estudos avaliados na Tabela 2, pH de maiores valores do que os registrados para o ponto Balsa.

A avaliação dos dados de estudos pretéritos executados na região estuarina do rio Araranguá nos permite descrever algumas hipóteses. Mesmo com a influência da entrada de águas salinas no estuário, e da diluição provocada por aportes de águas não impactadas pela DAM, como os rios Itoupava, Manoel Alves, Cedro entre outros, o trecho estuarino avaliado é preferencialmente ácido, demonstrando que os impactos de geração de acidez das áreas mineradas são percebidos até a foz ou exutório final da bacia hidrográfica.

Ainda assim, tanto para os dados pretéritos, quanto para os valores de pH coletados no presente estudo, estes parecem aumentar suavemente quanto maior sua distância das áreas fonte de acidez. A Figura 9 apresenta o cruzamento de dados entre pH, coletados neste estudo para superfície nos pontos estudados e sua relação com a distância das áreas mineradas em quilômetros. Pode-se atribuir este aumento a 3 situações: a) diluição com aportes de águas não ácidas, b) neutralização das águas ácidas com a influência da maré e, c) ação de reações químicas no trecho estuarino, permitindo a floculação/decantação de componentes mais ácidos, removendo acidez da coluna d'água, conseqüentemente aumentando os valores de pH.

Destaca-se que quanto mais próxima a influência marinha, maior a variação e nos valores de pH registrados e também maior a salinidade registrada, evidenciando o papel dos processos estuarinos no controle da acidez e dos valores de pH no estuário. A Figura 10 apresenta o cruzamento de dados entre salinidade para superfície nos pontos estudados e sua relação com a distância do mar em quilômetros.

Figura 9 - Regressão linear considerando dados de pH em superfície para todos os pontos x distância das áreas mineradas. Conforme aumenta a distância das áreas fonte de acidez, há uma considerável elevação do pH, em virtude do aporte de contribuintes não impactados e da atuação das águas salinas.

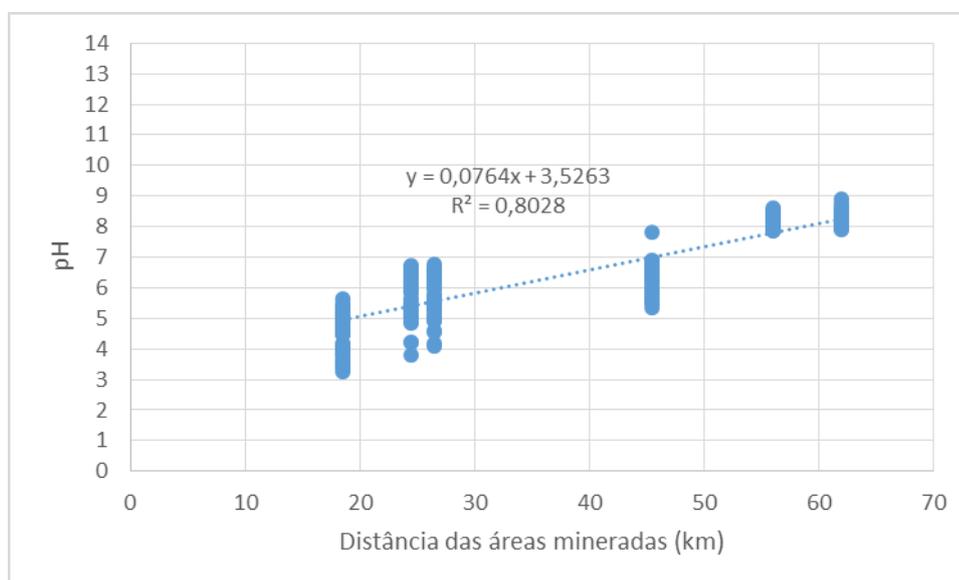
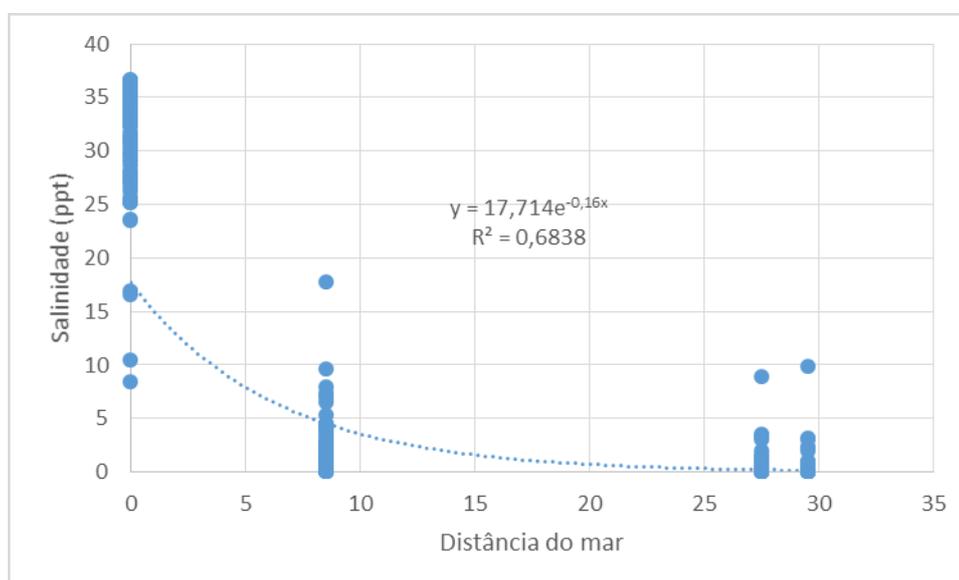


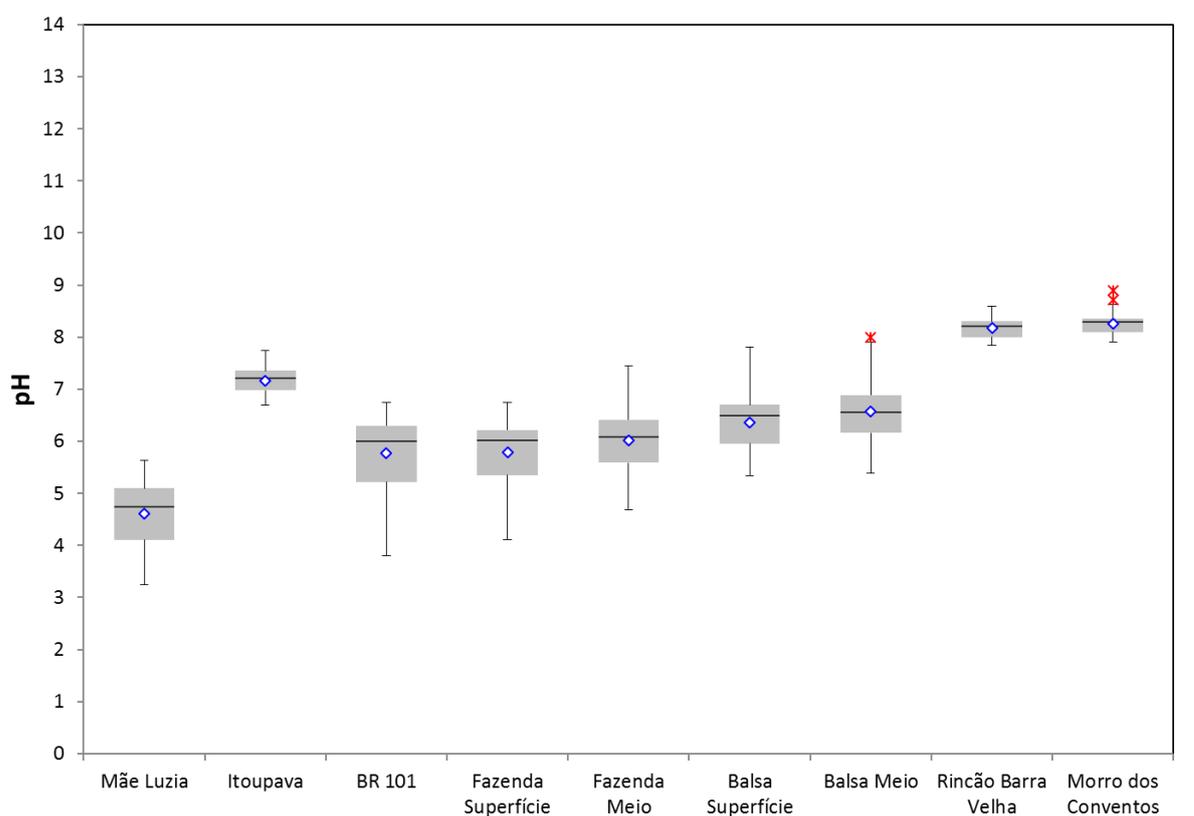
Figura 10 - Regressão linear considerando dados de salinidade (ppt) em superfície em todos os pontos x distância do mar (km). Quanto menor a distância do mar, maior atuação das águas salinas e consequente aumento da salinidade e efeito "tampão" sobre o pH.



O período avaliado no presente estudo compreendeu a totalidade de 1 ano hidrológico, com representatividade amostral das 4 estações: inverno, primavera, verão e outono. Uma síntese dos registros de pH com a totalidade dos valores amostrados neste período é apresentada na Figura 11. Comparando os dados atuais (Figura 11), com os dados históricos (Figura 8), percebe-se que os pH registrados no último ano apresentam valores levemente maiores em todas as estações que sofrem

influência das drenagens ácidas da mineração. Tal constatação fica mais aparente quando comparados os dados absolutos na Tabela 3. Esta característica pode indicar uma que há uma diminuição do aporte de águas com pH ácido para o estuário, trazidas pelo rio Mae Luzia. A exemplo, atualmente o ponto Mãe Luzia apresenta um pH médio de 4,6 quando comparado com os dados históricos, onde o pH médio foi 2,9. Comportamento semelhante, para as outras estações BR 101 (atual 5,7 x 4,2 nos dados pretéritos), Barranca/Fazenda (atual 5,7 x 3,7 nos dados pretéritos) e Balsa (atual 6,3 x 4,3 nos dados pretéritos).

Figura 11 - Distribuição total dos dados de pH no presente estudo. Nota-se pH mais elevados que as médias históricas no ponto Mãe Luzia, apesar de ainda elevada amplitude nos dados. Assim como para os dados históricos, o pH a partir do ponto BR 101 eleva-se conforme aumento da distância das áreas fonte e maior atuação do efeito “tampão” das águas salinas.



Legenda: × Outliers; ⊥ máximo entre os valores; ⊥ mínimo entre os valores; — mediana; ◇ média; □ distância entre o 1º e o 3º quartil (50% das amostras).

Tabela 3 - Comparativo valores de pH verificados em estudos anteriores e no presente estudo. Nota-se o aparente aumento dos valores gerais no ano avaliado.

	Rio Mãe Luzia		Rio Itoupava		BR 101		Barranca		Balsa	
	Histórico	2018/2019	Histórico	2018/2019	Histórico	2018/2019	Histórico	2018/2019	Histórico	2018/2019
Média	2,96	4,62	6,85	7,16	4,23	5,77	3,79	5,79	4,32	6,36
Mediana	3,00	4,75	6,86	7,21	4,00	6,00	3,57	6,02	4,00	6,49
Moda	2,80	4,71	6,90	7,35	3,60	6,00	3,50	6,15	3,70	6,83
Mínimo	2,00	3,24	6,40	6,70	3,30	3,80	2,60	4,11	2,30	5,34
Máximo	3,71	5,63	7,50	7,74	6,13	6,74	7,00	6,75	7,90	7,80
D. Padrão	0,32	0,61	0,26	0,24	0,87	0,68	0,87	0,64	1,03	0,49
CV%	11%	13%	4%	3%	21%	12%	23%	11%	24%	8%

Tais reduções percebidas na elevação dos valores de pH, e conseqüentemente no aporte de acidez, muito provavelmente estão vinculadas as ações de recuperação ambiental de antigas áreas mineradas, tratamento das drenagens ácidas de mina e melhor regramento e fiscalização das atividades de mineração que ainda operam na região, realizadas a partir do ano 2000 pelas empresas carboníferas e União Federal, motivadas por Ação Civil Pública, promovida pelo Ministério Público Federal contra as empresas carboníferas e União que exige entre outras medidas a implantação de coberturas argilosas de baixa permeabilidade aos estéreis e rejeitos e a remoção de materiais com potencial de geração de acidez das áreas de APP, como córregos, rios e banhados, minimizando assim seu contato com as águas pluviais, e conseqüentemente a carga de contaminantes carregada aos cursos d'água. (BRASIL, 2017).

Os valores registrados para a região costeira (Rincão e Morro dos Conventos), assim como para o rio Itoupava são os mais constantes, apresentando pequena variabilidade entre os dados. Na região costeira, o valor médio fica próximo a 8,0 unidades, enquanto no rio Itoupava próximo a 7,1.

As maiores variabilidades de dados são registradas nos pontos BR 101 e Fazenda, pontos onde há maior inter-relação entre as águas mais salinas e as águas ácidas de montante. Períodos mais secos, permitem maior entrada de águas salinas, resultando em valores de pH maiores. Em contrapartida, períodos mais chuvosos, carregando uma carga maior de acidez, levam a águas com menores valores de pH nestes pontos. No entanto, devido a diluição em virtude das precipitações, os valores de pH só refletem este aporte na forma de pH mais baixo nos dias após a passagem

das ondas de cheia (setas vermelhas na Figura 13), ou enchentes relâmpago como chamado por Schettini e Toldo (2006).

Figura 12 - Distribuição temporal dos dados de pH. Nos círculos em preto períodos em que o pH ficou abaixo de 6,0 no ponto Balsa Meio. No círculo vermelho, valores de pH mais baixos verificados no ponto Mãe Luzia. A linha vermelha indica o valor mínimo aceitável para pH em rios de classe II, conforme resolução CONAMA 357/2009.

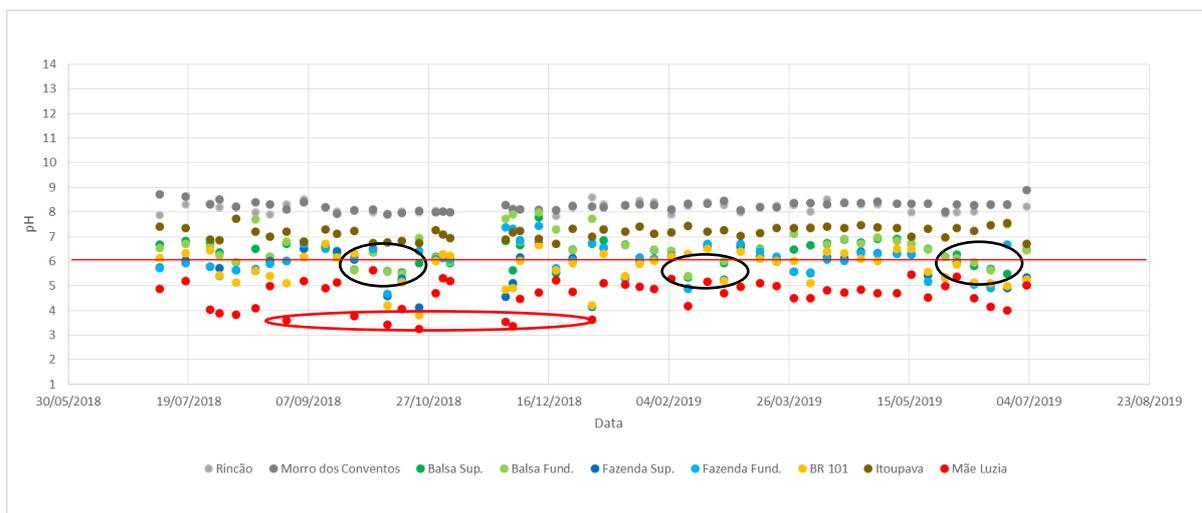
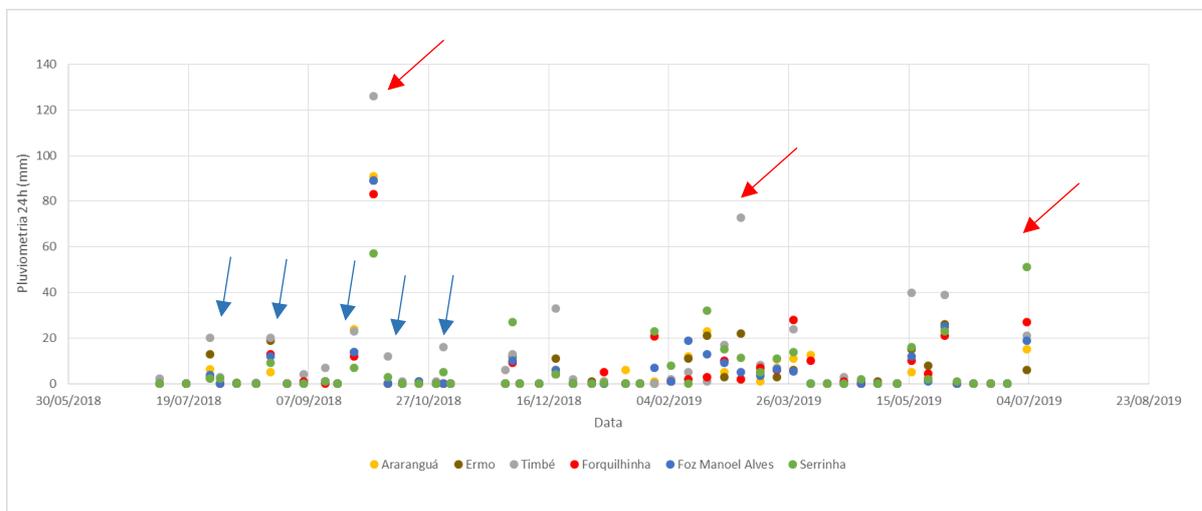


Figura 13 - Distribuição temporal dos dados de pluviometria 24h nas estações avaliadas. Setas vermelhas indicam pluviometrias altas, por consequência “ondas de cheia”. Setas azuis indicam períodos de pluviometria e vazões médias.



Como exemplo, para o ponto balsa fundo e balsa superfície são assinalados (círculos pretos na Figura 12) os valores de pH em decréscimo, após passagem das ondas de cheia (setas vermelhas na Figura 13). Observando os gráficos de distribuição total dos dados de pH (Figura 11) e de distribuição temporal dos dados de pH (Figura 12), percebe-se que por todo período avaliado, o pH foi sempre mais baixo

que 6,0 no ponto Mãe Luzia; valores de pH no mar (Rincão e Morro) sempre acima de 7,8 e Itoupava sempre acima de 6,0.

A Figura 12 mostra que o pH no ponto Balsa Meio ficou mais baixo que 6,0 apenas em 3 momentos: Outubro/18, Fevereiro/19 e Junho/19, coincidindo com épocas posteriores a passagem das ondas de cheia provocadas por períodos de maior pluviosidade (círculos em preto na Figura 12). Pontos Morro, Rincão e Itoupava apresentaram constância no pH ao longo do tempo. Balsa Superfície, diferindo de Balsa Fundo, apenas em períodos de estiagem prolongada, quando há presença de estratificação das águas com entrada da cunha salina. Fazenda, BR 101 e Mãe Luzia com grande flutuação dos dados entre uma semana e outra, haja vista variação no aporte de acidez e águas vindas com pH mais baixo pelo rio Mãe Luzia. Possivelmente a frequência semanal para estes pontos deixa lacunas nos dados, uma vez que a variação temporal tende a ser mais rápida, na frequência de horas.

Ponto Mãe Luzia apresentou uma maior variabilidade dos dados de uma semana para outra no inverno e na primavera, provavelmente ocasionado pela passagem quase que semanal de frentes frias pela região neste período, as quais influenciam na vazão e conseqüentemente na diluição do pH. No verão e outono, as mudanças apresentam-se mais amenas de uma semana para outra, haja vista a distribuição das chuvas ter sido mais constante. Nos pontos BR 101 e Fazenda foram observadas variações similares.

Com relação as diferenças na pluviometria, entre uma estação de coleta e outra, das 6 observadas na bacia (Figura 13), percebeu-se que pouco diferem estatisticamente uns dos outros: quando uma tem incremento em sua pluviometria, as outras costumam acompanhar este incremento. Maiores diferenças, ficam restritas as estações da zona costeira (BOOA e Araranguá), quando comparadas as estações localizadas próximas as escarpas da serra catarinense (Timbé e Siderópolis), sendo que nestas últimas os índices de chuva são quase sempre maiores que nas estações da zona costeira.

Outra consideração importante, se dá com relação ao ponto Mãe Luzia, o qual apresenta para o período deste estudo um pH mínimo 3,24 e máximo 5,63. Ou seja por todo período permaneceu com pH abaixo de 6,0, o qual é considerado o limite inferior para rios de Classe II Conforme Resolução CONAMA 357 (Linha vermelha indicada na Figura 12). Conforme esta resolução, as águas dos rios Mãe Luzia e

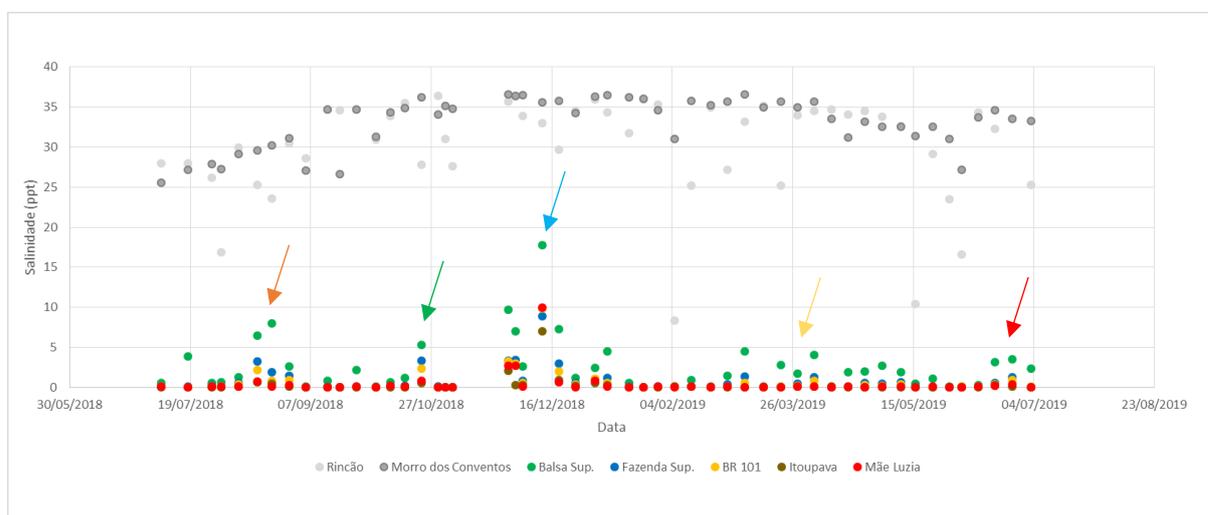
Araranguá, deveriam ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano após tratamento; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação; d) a irrigação de culturas agrícolas e; e) aquicultura e pesca, estando em desacordo com os parâmetros mínimos para seu uso pretendido em todas as campanhas.

Nos pontos BR 101 e Fazenda, distribuição dos dados de pH foi semelhante, com 50% dos dados nestes pontos entre 5,2 e 6,2, sendo que o Fazenda Meio, obteve algumas ocorrências de pH acima disto, em virtude da atuação de cunha salina em profundidade.

Na Balsa, pH médios mais altos que nos pontos BR 101 e Fazenda, no entanto, 50% dos dados entre 5,9 e 6,5, quase dentro dos limites da legislação para rios de Classe II. Recordar que 25% dos dados ficaram abaixo de 5,8 sendo o pH mínimo verificado em 5,3, relacionados sempre a períodos posteriores as maiores vazões nas ondas de cheia.

Assim, verificou-se que quanto mais afastado o ponto das áreas mineradas, maior a ocorrência de campanhas com valores de pH mais altos que a média, vindo a elevar suavemente os valores de pH conforme aumento da distância da área fonte. Valores de pH mais baixos no Mãe luzia (círculo vermelho na Figura 12) foram verificados durante a primavera, coincidindo com épocas de vazão normalizada após períodos de maior vazão provocadas pela pluviometria na bacia, que carrearam maior acidez aos rios (setas azuis na Figura 13).

Figura 14 - Variação temporal da salinidade entre as campanhas realizadas. Setas coloridas indicam picos de salinidade no interior do estuário, correspondendo a baixos índices pluviométricos na Figura 15. Nota-se maiores salinidades na zona costeira nos meses mais quentes, e picos de salinidade no interior do estuário.



Observou-se dados de salinidade no mar (Figura 14) (Rincão e Morro), mais alta nos meses mais quentes (Primavera-Verão), e menores no inverno e outono. Picos de salinidade dentro do estuário (setas na Figura 14), respondem a semanas sucessivas de baixa precipitação (círculos na Figura 15).

Quanto a temperatura da água, verificou-se que as mesmas variam em conformidade com a temperatura ambiente, uma vez que as coletas foram realizadas em superfície, na lâmina d'água. De modo geral, a maior temperatura encontrada correspondeu ao verão (Figura 16).

Figura 15 - Variação temporal dos dados de pluviometria. Círculos coloridos indicam baixos índices pluviométricos nas ultimas 72h, correspondendo aos picos de salinidade na Figura 14.

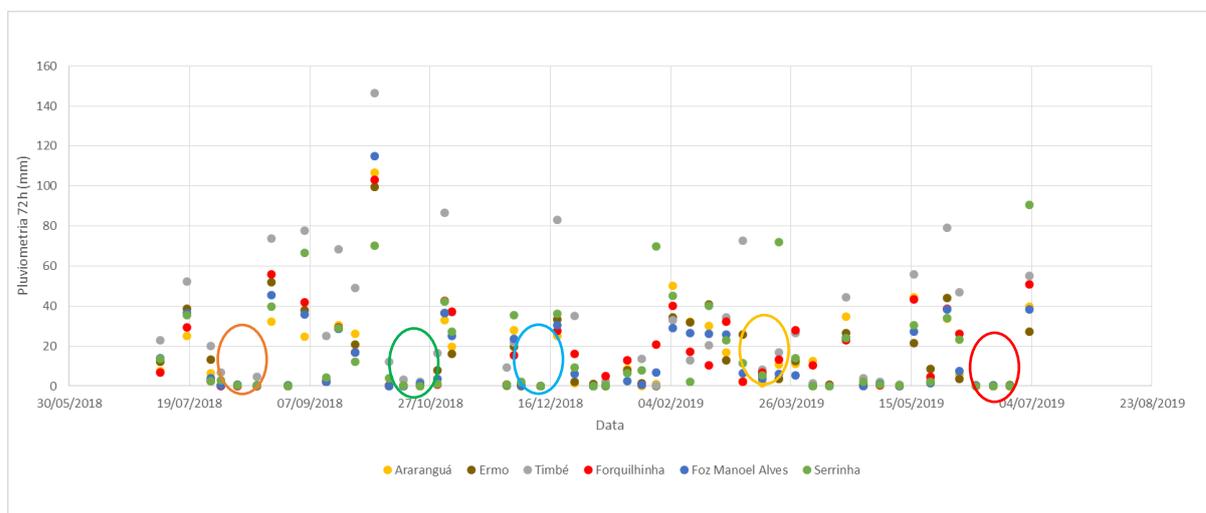
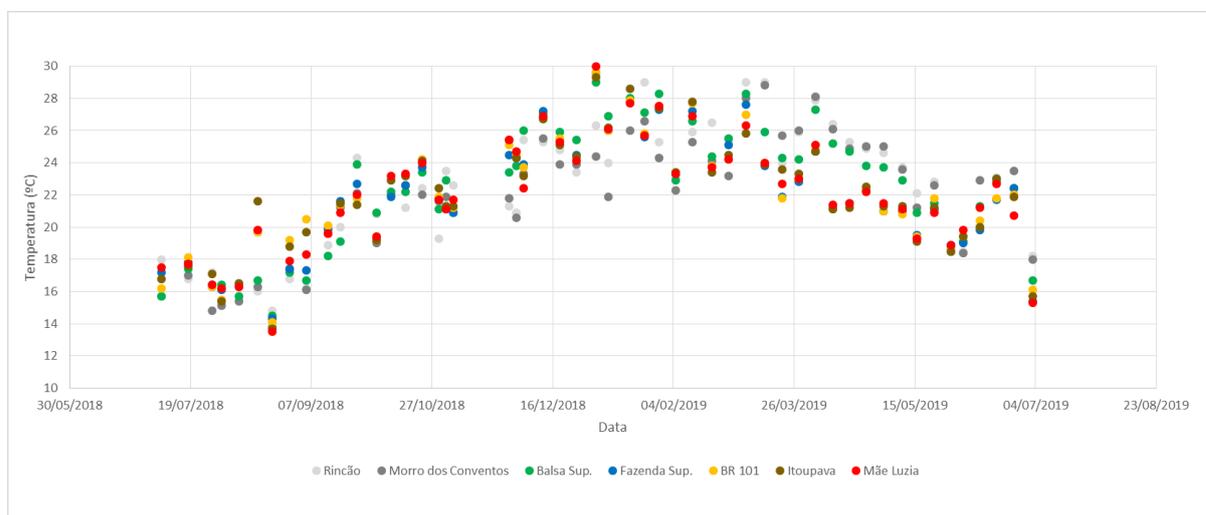


Figura 16 - Evolução temporal dos dados brutos de Temperatura durante o ano avaliado. Nota-se que a temperatura em superfície é diretamente relacionada a temperatura ambiente, variando conforme estações do ano.



A Figura 17 apresenta a distribuição total dos dados de pH considerando apenas pontos em superfície e no interior do estuário ($n = 52$ campanhas \times 5 pontos = 260). Verifica-se distribuição de padrão normal, com maioria dos dados entre 5,5 e 7,5.

Figura 17 - Distribuição de frequência dos dados de pH no estuário do rio Araranguá considerando os pontos em superfície. Verifica-se padrão de distribuição normal dos dados.

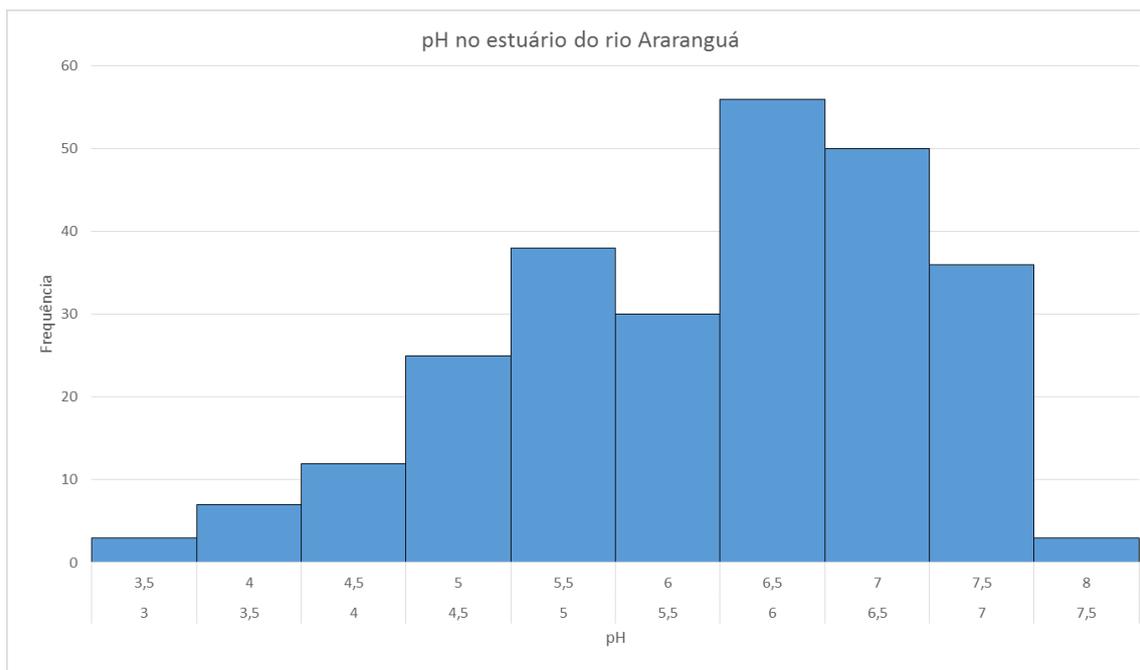


Figura 18 - Distribuição de frequência dos dados de salinidade no estuário do rio Araranguá considerando os pontos em superfície. De modo geral nota-se baixos valores em superfície, com ocorrência de salinidades elevadas apenas em picos de baixa pluviosidade.



Considerando a distribuição dos dados de frequência da salinidade (Figura 18) verifica-se padrão não normal, prevalecendo baixos valores de salinidade (mais de 90% dos dados). Realizou-se a segmentação da distribuição de pH por estação do ano (Figura 19), onde observa-se que no inverno e primavera há uma maior distribuição dos dados, apresentando valores mais extremos. Uma ocorrência maior de pH mais ácidos é verificada na primavera, período no qual as chuvas foram melhores distribuídas. Em contrapartida no outono, que deveria ser o período mais seco do ano na região, tivemos um outono atípico com relação ao regime de chuvas (Tabela 4). Apenas durante o mês de maio/2019, a estação Pluviométrica de Araranguá registrou 414mm bem distribuídos, enquanto a normal para o período é 66,5mm. Em virtude desta alta pluviosidade, o fator diluição provocou a elevação dos valores de pH, sendo que não houve períodos de estiagem em meio a estes.

Figura 19 - Histogramas de distribuição de frequências por estação do ano. Observa-se que no inverno e primavera há uma maior distribuição dos dados em virtude das variações diárias de pluviometria. No outono, onde grandes precipitações em curto espaço de tempo foram pouco ocorrentes, os valores de pH ficaram constantes.

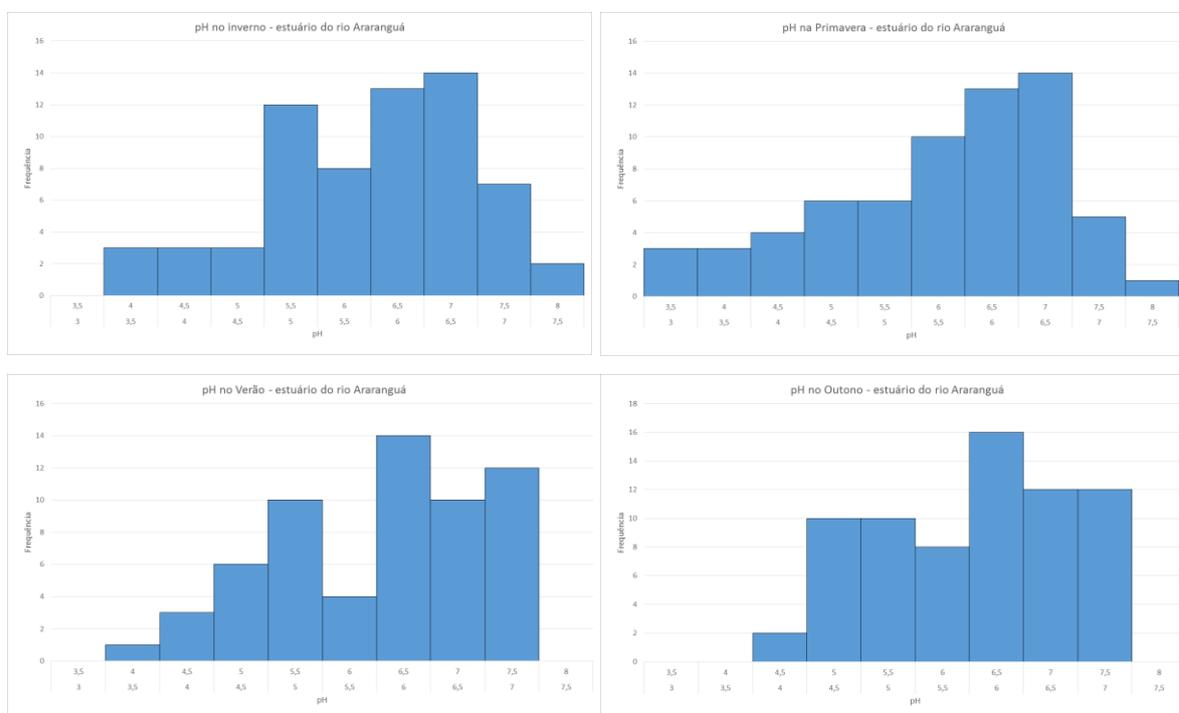
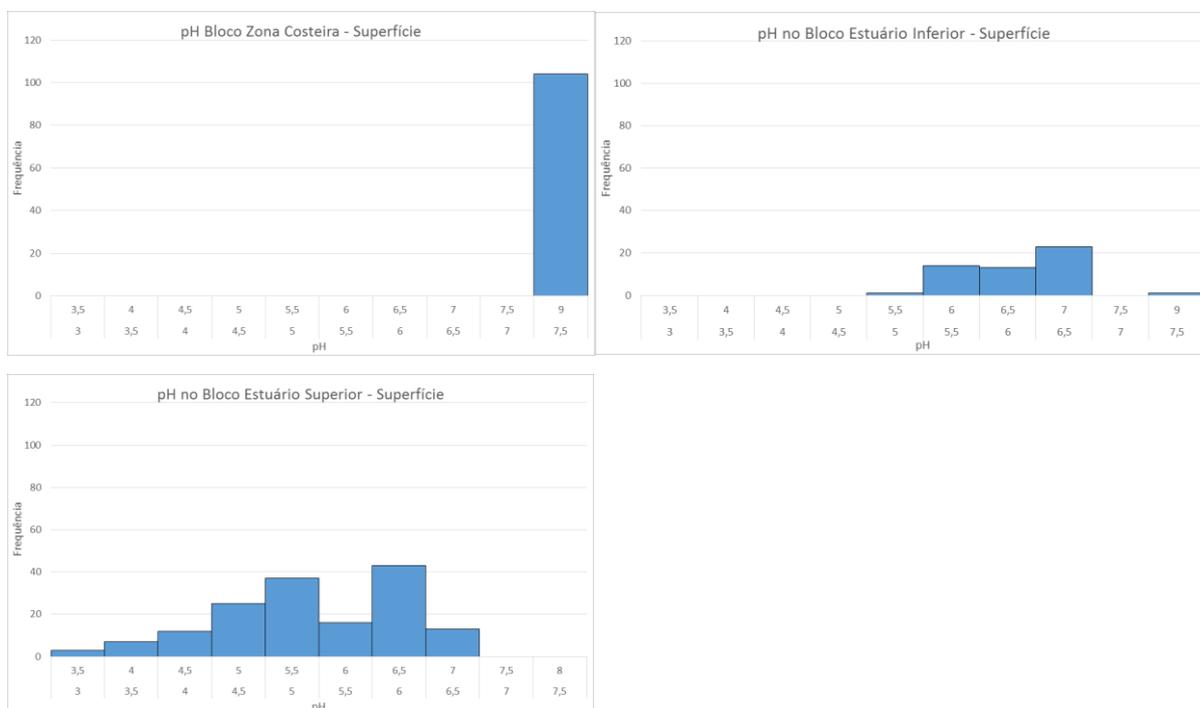


Tabela 4 - Precipitação total acumulada em mm para o período monitorado - Estação Araranguá. Índices de pluviometria no outono muito superiores ao esperado para este período do ano.

Estação do Ano	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Anual
Pluviometria (mm)	436	411,8	558,4	659,4	2065,6

A Figura 20 apresenta o histograma para pH em cada um dos setores, divididos conforme a distância da foz. O APÊNDICE 1 apresenta as tabelas descritivas da análise exploratória. O padrão de distribuição pouco se modificou em relação a análise conjunta, no geral se repetindo as constatações anteriores. Na Zona Costeira, o pH permanece sempre próximo a 8,0. No estuário inferior, representado pelo Ponto Balsa as maiores ocorrências foram pH variando de 5,5 a 7,0, muito em virtude da ação das águas salinas, que elevam o pH, bem como do fator pluviométrico da bacia. No estuário superior, houve a maior variação, com ocorrências bem distribuídas de 4,5 a 7,0. Esta variação no estuário superior, reflete as condições de pluviosidade na bacia. Neste setor, pH maiores ocorrem em virtude da diluição ocasionada pela pluviosidade em um primeiro momento, vindo a apresentar valores menores em um segundo momento, quando a vazão estabiliza e a carga ácida carregada das áreas mineradas reflete no pH.

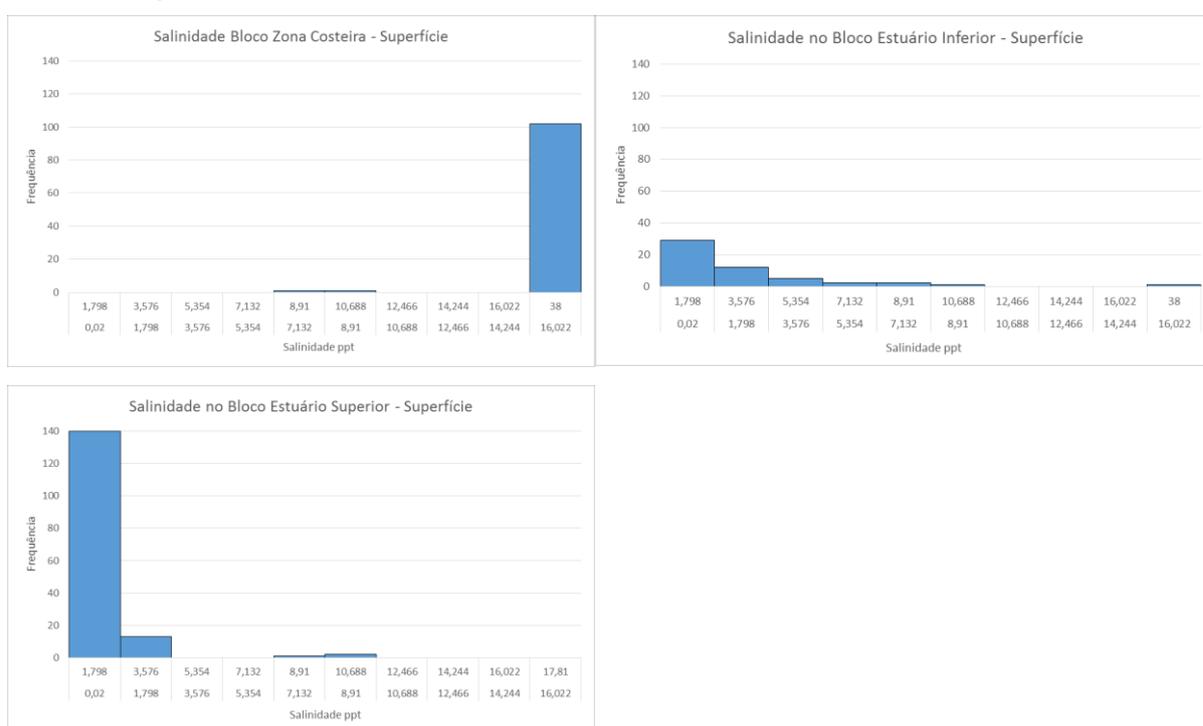
Figura 20 - Histogramas de distribuição de frequências por setor estuarino e zona costeira. Na zona costeira, pH elevado. No estuário inferior, pH variando de 5,5 a 7,0 em virtude da maior ação das águas salinas. No estuário superior, ocorrências bem distribuídas de 4,5 a 7,0 refletindo as condições de pluviosidade na bacia e aporte de efluentes ácidos.



A Figura 21 apresenta o histograma para salinidade em cada um dos setores. Na Zona Costeira, pela coleta ser efetuada na zona de arrebenção, a salinidade

permaneceu por mais de 100 ocorrências superior a 16 ppt. Apenas em 2 situações, a salinidade ficou abaixo disso, em casos especiais onde a alta pluviometria, aliada a corrente marinha e vento, fez com que a salinidade mais baixa fosse percebida no Ponto Rincão – Barra Velha. No entanto, mesmo com águas menos salinas, o pH permaneceu acima de 7,8.

Figura 21 - Histogramas de distribuição de frequências de salinidade por setor estuarino e zona costeira. Na zona costeira a salinidade permaneceu por mais de 100 ocorrências superior a 16 ppt. Apenas em 2 situações, a salinidade ficou abaixo disso, em casos especiais onde a alta pluviometria, aliada a direção da corrente marinha fez-se perceber menores salinidades no ponto Barra Velha.



No estuário inferior, Ponto Balsa é que ocorre uma maior distribuição das ocorrências de diferentes salinidades (Figura 21), uma vez que, a proximidade com a praia e influência das marés, torna a salinidade, mesmo em superfície mais variável. Considerando as 52 coletas, em mais de 25 delas a salinidade foi inferior a 1,79 ppt. No estuário superior, haja vista distância com o mar, apenas em condições de estiagem prolongada, entre 7 a 15 dias sem pluviosidade a salinidade é percebida em superfície, graças a baixa vazão, que permite a mistura da água da cunha salina no interior do estuário.

Foram também avaliadas correlações lineares entre os parâmetros, primeiramente para os dados brutos. Foram realizados testes procurando relações existentes, 468 cruzamentos foram realizados cruzando-se as variáveis analisadas

entre elas, bem como entre diferentes pontos, parâmetros, entre outros. A Figura 22 relaciona pontos com as coletas realizadas em meio d'água para salinidade e pH. Nota-se a presença do sal influenciando o aumento do pH, mesmo com um coeficiente de determinação baixo. Na Figura 23 relacionando salinidade no Ponto Balsa com pluviometria 7 dias, já não é possível observar uma relação tão clara, uma vez que mais de um processos físicos influenciam nessa região. Porém pode-se observar de forma geral que o aumento das chuvas, reduz a salinidade no estuário, uma vez que expulsa as águas mais salinas do interior, substituindo por águas doces mais ácidas, levando a diminuição do pH. Com a diminuição das chuvas, aumenta a salinidade e consequentemente o pH.

Figura 22 - Relação pH x Salinidade nos pontos em Meio D'água, nos pontos Balsa e Fazenda. Elevação da salinidade leva a maiores pH, evidenciando efeito "tampão" do sal nas águas de baixo pH.

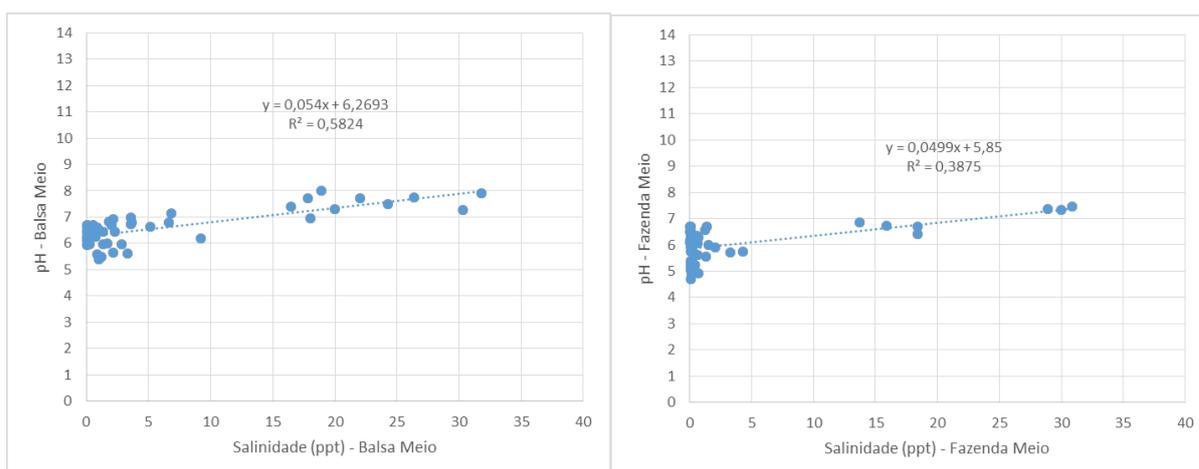
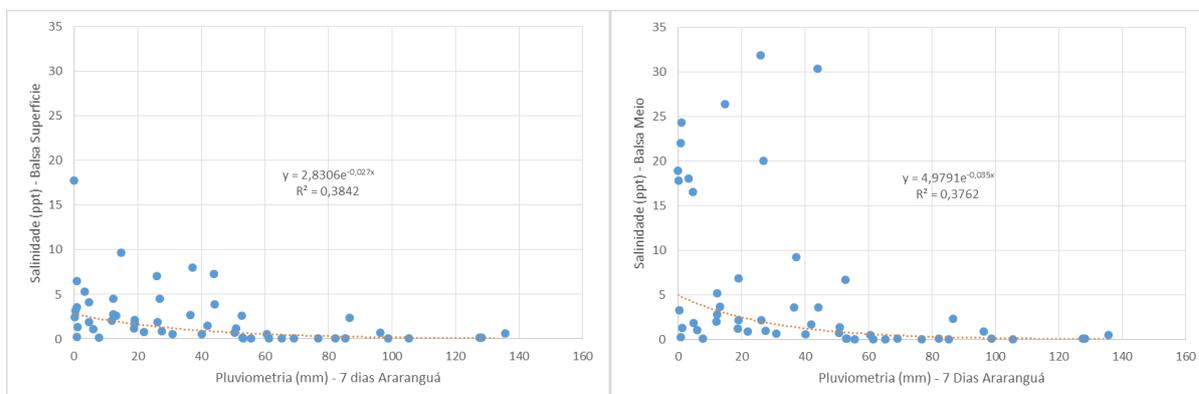
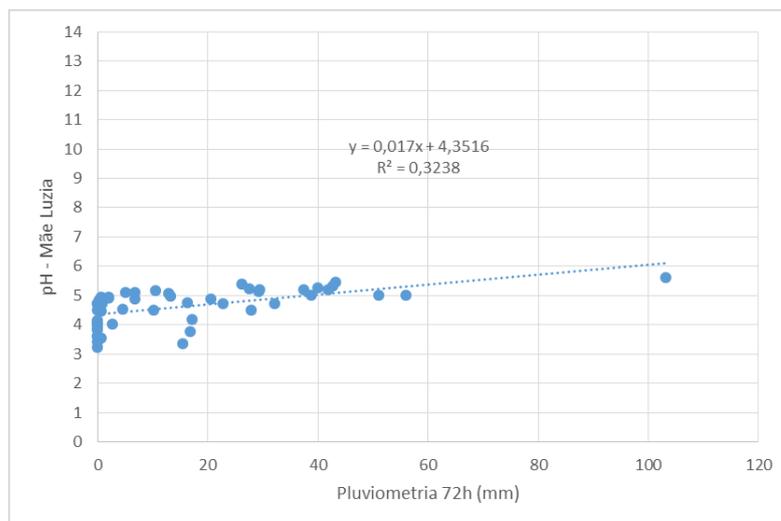


Figura 23 - Relação entre salinidade x pluviometria Araranguá nos últimos 7 dias, no ponto Balsa. Quanto maior a pluviometria, menor a salinidade demonstrando a expulsão das águas salinas do interior do estuário para a zona costeira.



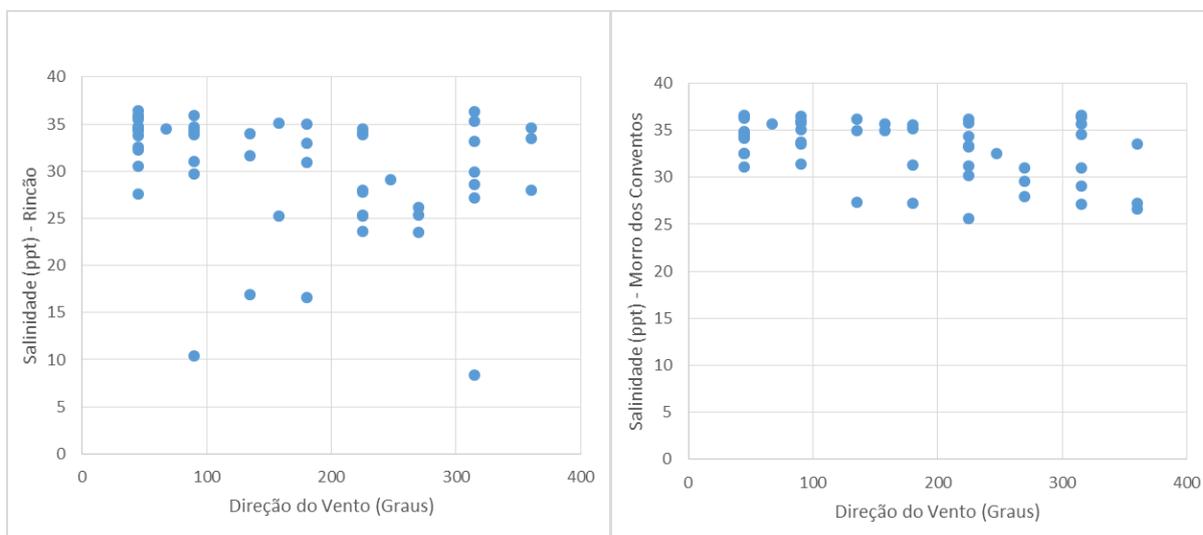
A Figura 24 apresenta os valores de pH no Ponto Mãe Luzia, observa-se que o mesmo aumenta com a pluviometria de 72 horas, no curto espaço de tempo. Apesar de um baixo coeficiente de determinação, foi observado que durante a onda de cheia ocasionada pelas chuvas, o pH tende a aumentar, pelo ao fator diluição. Mas após a passagem da onda de cheia, é que são verificados os menores valores de pH resultantes da acidez carregada durante a chuva passada. Com a microbacia hidrográfica do Mãe Luzia apresentando um Tempo de Concentração de mais de 165 horas, conforme Santa Catarina (1997), a situação representada pela chuva de 72h no ponto Mãe Luzia, refere-se ainda a passagem da “onda de cheia”, indo a encontro ao Tempo de Concentração apresentado.

Figura 24 - Relação pH Mãe Luzia x Pluviometria 72h Forquilha. Em um primeiro momento a pluviometria reflete no aumento do pH, em virtude da diluição provocada pelo aporte das águas pluviais nas drenagens. Somente após a passagem da “onda de cheia” ou “enchente relâmpago” é que os pH ácidos irão refletir em seu valor absoluto mediante aos contaminantes e acidez carregada para as drenagens após eventos pluviométricos.



Foram também avaliados cruzamentos considerando as condições de direção e intensidade do vento na Zona Costeira, com salinidade e pH. Não foram observadas relações estatísticas entre essas variáveis (Figura 25). No entanto, qualitativamente observa-se que nos pontos no mar, onde foram verificadas salinidades mais altas com ventos de quadrante N-L (0 a 90°) e N-W (270 a 360°), que podem estar relacionados ao fenômeno da ressurgência. Para as outras relações, nenhuma correspondência evidente, podendo considerar-se que o vento não é influente nas condições de pH no estuário.

Figura 25 - Relação salinidade no mar x direção dos ventos. Observa-se que foram verificadas salinidades mais altas na zona costeira com ventos de quadrante N-L (0 a 90°) e N-W (270 a 360°), que podem estar relacionados ao fenômeno da ressurgência marinha.



Observando-se as relações entre pH e Maré, ou Salinidade e Maré, nenhuma relação foi encontrada. Os dados coletados registraram Sizígia ou Quadratura, presença de maré meteorológica ou não, e ainda dados de altura da maré meteorológica e maré medida. Mesmo assim, não se visualizou relações plausíveis. Devido: a) pela maré da região ser caracterizada por micro marés, esta variável não traz grandes explicações ou relações para os valores de pH, já descrito por Barreto e Schettini (2014), onde destacaram que as marés não desempenham papel determinante na hidrodinâmica no estuário do rio Araranguá; b) a frequência amostral semanal não consegue captar essa influência uma vez que a maré varia na escala de horas. Por observação, percebe-se que quando há marés meteorológicas que elevam o nível da água nas praias, com o característico “mar de ressaca”, normalmente associado a passagem de “frentes-fria” na região, com o vento e corrente predominando de quadrante sul, o rio Araranguá tende a “ter maior dificuldade” de desaguar no mar, aumentando o tempo de permanência das águas de pH mais baixo no interior do estuário.

Ainda, a mesma segmentação considerando o estuário em 3 setores (Alto-médio estuário, baixo estuário e zona costeira) realizada para análise exploratória foi repetida para os testes de correlação mais significantes. Os resultados, mesmo segmentados, refletiram as considerações já tecidas acima.

O APÊNDICE 2 apresenta a tabela descritiva com as principais observações de campo a cada campanha.

Destas, destaca-se um leve aumento nos valores de pH, em comparação com os registrados nos estudos históricos avaliados. Os valores de pH no mar foram constantes durante todo período amostrado, não apresentando mudanças significativas que justificassem alguma relação entre alteração no pH e descargas ácidas do estuário na região costeira adjacente. No rio Itoupava, assim como no mar, os valores de pH também apresentaram-se constantes, não dependendo das condições de vazão ou pluviometria. As maiores variabilidades de valores de pH, verificadas entre uma campanha e outra, foram verificadas nos pontos BR 101 e Fazenda. São os pontos mais “centrais” do estuário, localizados no médio estuário, onde ocorre maior inter-relação entre salinidade e águas ácidas, dependendo principalmente das vazões. No alto estuário – Mãe Luzia, predominaram os valores de pH baixos, pela menor ocorrência da cunha salina chegar até naquele ponto, e menor distância das áreas mineradas, enquanto no baixo estuário, predominaram pH médios (6,0 a 7,0) pela maior ocorrência de atuação da cunha salina e distância das áreas mineradas.

Percebe-se que ao aumentar a pluviometria, aumenta “acidez” que é carregada via escoamento superficial das áreas mineradas até o estuário. No entanto, esta “acidez” só reflete no pH nos dias seguintes após passagem da “onda de cheia”, haja vista que a diluição pelo aumento da vazão, naquele primeiro momento eleva os valores de pH, mascarando a acidez carregada.

No verão e outono a pluviometria foi mais “constante”, com chuvas fracas durante todo o dia, ou no verão, com chuvas a todo “fim de tarde”, os dados de pH em todo estuário apresentaram mudanças mais amenas de uma campanha para outra. No inverno e primavera a incidência de “frentes-fria” (com característica de terem 1 ou 2 dias de chuva ao início e serem sucedidas por 3 a 5 dias de estiagem) foi maior, tornando as semanas menos constantes quanto aos índices pluviométricos, fazendo com que as mudanças de pH no estuário sejam mais abruptas entre as campanhas. Devido estas características sazonais, nota-se que a coleta com frequência semanal deixou lacunas, principalmente neste período das “frentes-fria”, sendo que a exemplo: em uma frente-fria com duração inferior a 3 dias, nenhum dado foi coletado naquele evento.

Salinidade em maiores níveis no alto estuário, só foram verificadas na superfície após em períodos com quase 2 semanas sem precipitações consideráveis, indo a encontro com o observado por Coelho (2010), onde o gradiente longitudinal e vertical de salinidade varia conforme a descarga fluvial. Este autor observou que, apresentando em condições de vazões menores uma cunha salina com extensão de 35 km a montante da foz pode ocorrer, enquanto para condições de maiores vazões a extensão da cunha diminui para 5 km da foz ou até menos. Considerando as 52 campanhas realizadas, salinidade acima de 2,0 ppt em superfície no ponto Médio Estuário – Fazenda, a 28 km a montante da foz, ocorreu apenas 7 vezes, enquanto no Baixo Estuário – Balsa, a 8 km a montante da foz, 23 vezes, praticamente metade das campanhas.

Pequenos flocos em suspensão foram verificados praticamente em todas as campanhas, logo a partir da união da confluência do rio Mãe Luzia com os rios Cedro e Manoel Alves. Couceiro e Schettini (2010), descreveram que o baixo pH da água do rio Mãe Luzia tem efeito floculante sobre os sedimentos em suspensão, provenientes do rio Itoupava sendo que a confluência da água de ambos produz a floculação dos sedimentos em suspensão, acelerando a decantação ao longo do estuário. O que se verificou no presente estudo, é que embora a relação baixo pH, floculação e sedimentação esteja correta, está se inicia antes ainda da confluência com o rio Itoupava, cerca de 7 km a montante do ponto descrito por Couceiro e Schettini (2010).

A confluência da água de baixo pH do rio Mãe Luzia, não só produz a floculação dos sedimentos em suspensão presentes no rio Cedro, Manoel Alves e posteriormente Itoupava, como também as águas de pH neutro, ocasionam uma elevação no pH do rio Mãe Luzia, precipitando os metais e ácidos presentes nas águas de baixo pH do rio Mãe Luzia na forma diluída, para uma forma floculada, formando flocos de óxidos férricos e metálicos em suspensão, como visualizado na Figura 26. Segundo Alexandre (2000), e Volpato, Menezes e Silva (2017) estes flocos são formados por argilas, areias, matéria orgânica, metais, como ferro, manganês, cromo e zinco, outros sais e sulfatos, logo que ocorre a adsorção pela matéria particulada dos elementos presentes nas DAM, oriundas das áreas de mineração.

Figura 26 - Flocos em suspensão verificados no rio Mãe Luzia. Flocos formados por argilas, areias, matéria orgânica, metais, outros sais e sulfatos, em virtude da adsorção pela matéria particulada dos elementos presentes nas DAM oriundas das áreas de mineração.



Fonte: O Autor.

Quando ocorre a confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia os flocos já estão formados, em suspensão no rio Mãe Luzia chegam a confluência com o rio Itoupava. Em praticamente todas as campanhas haviam flocos em suspensão já no rio Mãe Luzia, sendo que eram percebidos por vezes em suspensão também no rio Araranguá, até nos pontos do médio estuário (BR 101 e Fazenda), e até no baixo estuário (ponto Balsa), conforme a intensidade das chuvas e vazão. Em algumas ocasiões, no rio Mãe Luzia a calha do rio estava totalmente preenchida por flocos em suspensão. Em outras ocasiões se apresentavam na forma de bolsões, assim como nos pontos BR 101 e Fazenda. Na Balsa, normalmente se apresentavam bem disseminados na água, ou acumulados nas áreas de remanso do rio ou nas margens (Figura 27).

Figura 27 - Flocos em suspensão verificados no baixo estuário do rio Araranguá, Ponto Balsa. Altas vazões, além de não dar o tempo necessário para o estuário decantar os flocos e metais diluídos, re-suspende e arrasta boa parte dos flocos já depositados no fundo do estuário.



Fonte: O Autor.

Das 52 campanhas realizadas, em 5 delas notou-se a presença dos flocos de característica cor laranja na praia de barra velha – Balneário Rincão, próximo ao ponto de coleta na zona costeira posicionado a NE da desembocadura do rio Araranguá (Figura 28). Conseqüentemente, tal fenômeno foi constatado nas semanas onde houve alta pluviosidade, logo após as ondas de cheia. Supõe-se que as altas vazões, além de não dar o tempo necessário para o estuário decantar os flocos e metais diluídos, re-suspende e arrasta boa parte dos flocos já depositados no fundo do estuário. Couceiro e Schettini (2010) descreveram que quando a velocidade de corrente aumenta acima de 15 cm/s os flocos são ressuspensos, carregados ou destruídos e novamente diluídos. Schettini e Toldo, (2006) já havia observado relações semelhantes entre velocidade de escoamento provocada pelo aumento da vazão e suspensão de sedimentos para o rio Itajaí-Açu, também em Santa Catarina. Nestas ocasiões, acredita-se que juntamente com os flocos visualizados na zona de arrebenção e depositados na areia da praia, metais e acidez, ou águas de pH mais baixo estão atingindo a zona costeira. No entanto, como nestes momentos, a diluição da onda de cheia prevalece, tal “acidez” não é refletida na leitura imediata do pH. Apenas dias posteriores a passagem da onda, valores de pH ácidos eram visualizados nas leituras.

Figura 28 - Flocos em suspensão depositados na areia da praia no Balneário Rincão, Ponto Praia da Barra Velha. Nestas ocasiões, acredita-se que juntamente com os flocos visualizados na zona de arrebenção, metais e águas de pH mais baixo estão atingindo a zona costeira.



Fonte: O Autor.

Durante o desenvolvimento deste trabalho verificou-se que a dependência da vazão, e conseqüentemente da pluviometria, é que governa os processos de pH no

estuário do rio Araranguá. Não encontrou-se neste estudo relações entre pH e Salinidade no estuário que variassem em função da maré e ventos. A dinâmica de exportação de sedimentos, flocos, e conseqüentemente acidez e águas de baixo pH para Zona Costeira foi de encontro com o observado por Schettini; Toldo, (2006) e D'aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010), referente ao comportamento hidrodinâmico no estuário do rio Araranguá. Os referidos autores classificaram o estuário do rio Araranguá como estuário de cunha salina com transporte de sedimentos dominado por enchentes relâmpago, onde sugeriram 2 modos de comportamento: i) O modo marinho, quando em períodos de baixa vazão a cunha salina adentra ao estuário, fazendo com que as marés controlem os processos de transporte, reduzindo o influxo de material particulado para costa, e retendo-os no estuário e ii) O modo fluvial, quando em vazão elevada, as águas salinas são praticamente expulsas do estuário, diminuindo a retenção, aumentando os materiais particulados em suspensão, exportando-os diretamente para a plataforma.

As vazões de permanência, são parâmetros hidrológicos importantes para mediar o comportamento fluviométrico das bacias hidrográficas. D'aquino, (2010) apresenta em seu trabalho as vazões de permanência, para alguns estuários estudados em Santa Catarina. Entre eles, apresenta a relação de ocorrência entre frequência anual e vazão para o rio Itoupava, principal afluente do estuário do rio Araranguá. Foram destacadas a Q90%, onde a vazão é igualada e superada em 90% do tempo, Q50% onde a vazão é igualada e superada em 50% do tempo, Q10% onde a vazão é igualada e superada em 10% do tempo e QMLT, que trata-se da vazão média de longo termo, ou seja a vazão média mais registrada na bacia. Os valores apresentados para o rio Itoupava foram: Q90% = 5,09m³/s; Q50% = 27,4m³/s; Q10% = 73m³/s e Qmlt = 33,9m³/s.

Figura 29 - Diferentes condições verificadas no ponto ML - rio Mãe Luzia, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{mlt}$ - Fluvial; B: $Q > Q_{10}$ - Fluvial; C: $Q < Q_{90}$ - Marinho; D: $Q < Q_{mlt}$ - Marinho. Nota-se grande variação no aspecto visual do rio, com a presença de flocos, turbidez e cor conforme modo de atuação do estuário.



Fonte: O Autor.

D'aquino, (2010) apresenta que o modo de transporte de material particulado em suspensão no estuário do rio Araranguá pode ser previsto através da relação entre as vazões de permanência citadas acima e a presença de cunha salina, visualizados na Figura 29:

- Vazão maior ou igual a Q_{mlt} : = Cunha salina + MPS, estuário atua como exportador de MPS – Modo Fluvial;
- Vazão maior ou igual a Q_{10} = Sem cunha salina + MPS, estuário atua como exportador de MPS – Modo Fluvial;
- Vazão menor que a Q_{mlt} = Cunha salina intensa, estuário atua como importador de MPS – Modo Marinho;
- Vazão menor ou igual a Q_{90} = Estuário bem misturado, importador de MPS – Modo Marinho.

A Tabela 5 apresenta uma síntese das ocorrências de cada um dos modos de comportamento estuarino, de acordo com as vazões de permanência apresentadas em D'aquino, (2010). A Figura 32, apresenta um croqui do modelo de comportamento proposto.

Tabela 5 - Vazões de permanência, ocorrências e modo de funcionamento do estuário do rio Araranguá.

Vazão de Permanência	Ocorrências					Observações
	Total	Inverno	Primavera	Verão	Outono	
Vazão <= Q90 (5,09m³/s)	8	3	4	1	0	Modo Marinho - Importador
Vazão < Qmit (33,09m³/s)	35	7	7	8	13	Modo Marinho - Importador
Vazão >= Qmit (33,09m³/s)	7	3	0	3	1	Modo Fluvial - Exportador
Vazão >= Q10 (73,0m³/s)	2	0	2	0	0	Modo Fluvial - Exportador

* Vazões do rio Itoupava. Vazões de permanência Qmit, Q90%, Q50%, Q10% conforme D'Aquino (2010).

Em condições de baixa vazão ($Q < Q90 - 5,09\text{m}^3/\text{s}$) ocorre pouca diluição das DAM carregadas, sendo que o rio Mãe Luzia deságua no rio Araranguá com pH inferiores a 4,0 em superfície. Em subsuperfície, águas salinas de pH superior a 7,0 adentram para além da confluência dos rios Mãe Luzia e Itoupava, apresentando em primeiro momento uma cunha salina bem pronunciada, com estratificação clara das águas percebidas pontos Mãe Luzia, Itoupava, BR 101, Fazenda e Balsa. A acidez é neutralizada, o efeito filtrante do estuário é percebido. Poucos flocos são observados, e se ocorrentes nestas condições apenas anteriormente ao ponto de coleta no rio Mãe Luzia. Se a situação de baixa vazão persiste por períodos superiores a 15 dias, o estuário passa de estratificado com cunha salina, para parcialmente bem misturado, conforme descrito por D'aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010). As águas ficam salinas, parcialmente homogêneas em profundidade com pH superiores a 7,0. No baixo estuário, ponto Balsa, a salinidade e pH tendem a ser muito próximos da zona de arrebenção da região costeira adjacente (Situação B, da Figura 31).

Figura 30 - Diferentes condições verificadas no Ponto Balsa - rio Araranguá, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{10}$ – Fluvial, com forte corrente e alta turbidez durante evento de alta pluviosidade; B: $Q < Q_{mlt}$ – Marinho, com corrente de enchente e baixa turbidez.



Fonte: O Autor.

Em condições de vazão consideradas normais ($Q < Q_{mlt}$ – 33,09 m³/s), o rio Mãe Luzia sempre despejando pH ácido inferiores a 5,0 no rio Araranguá, com formação de floculado, normalmente na forma de “bolsões” a partir das confluências deste com os rios Cedro e Manoel Alves. Com a ocorrência de eventos pluviométricos, o pH imediatamente aumenta em virtude da diluição, porém após a passagem da onda de cheia ele tende a reduzir, demonstrando a carga ácida carregada. A medida que vai se distanciando das áreas fonte, em virtude da diluição de outras contribuições não impactadas pela atividade carbonífera e também dos processos de mistura com as águas salinas, os valores de pH vão aumentando, até chegar em valores dentro da neutralidade a partir do ponto Balsa até a foz e Zona Costeira. Durante este caminho de elevação do pH, os metais dissolvidos precipitam, floculam e decantam no interior do estuário. A acidez é neutralizada, e o efeito filtrante do estuário é percebido. A cunha salina costuma adentrar até próximo a cidade de Araranguá, ocasionando a mistura das águas a partir deste ponto a jusante (Situação B da Figura 30).

Em condições de alta vazão ($Q > Q_{mlt}$ – 33,09 m³/s) o rio Mãe Luzia apresenta-se com valores de pH superiores a 5,0 em virtude da diluição provocada pelos eventos pluviométricos. Porém, durante o período deste estudo esta diluição não foi capaz de elevar os valores de pH neste ponto acima de 6,0. O aumento da velocidade da corrente revolve o fundo arrastando e ressuspensando os flocos que se encontravam sedimentados. São encontrados flocos dispersos, por vezes preenchendo por toda a calha do rio, sendo carregados por todo o estuário. Em eventos de alta pluviometria em curto espaço de tempo (neste estudo 5 das 7 ocorrências em 52), os flocos são

encontrados na areia e zona de arrebentação da praia de Barra Velha – Balneário Rincão junto a foz. O estuário não tem tempo de residência suficiente para neutralizar/precipitar eventuais metais dissolvidos, acidez e flocos, exportando-os para a zona costeira (Situação A, da Figura 31).

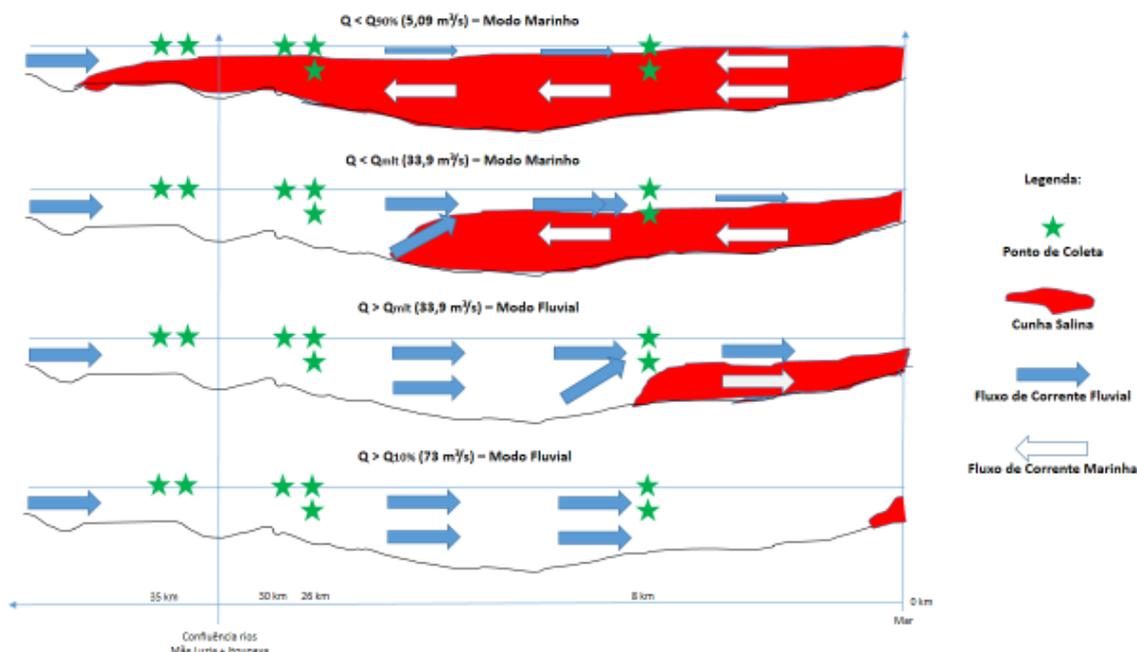
Figura 31 - Diferentes condições verificadas no FZ - rio Araranguá, conforme variação da vazão. A: $Q > Q_{mlt}$ - Fluvial; B: $Q < Q_{90}$ – Marinho.



Fonte: O Autor.

Em condições de muito alta vazão ($Q > Q_{10} - 73 \text{ m}^3/\text{s}$), 2 ocorrências neste estudo, as condições são semelhantes de alta vazão ($Q > Q_{mlt} - 33,09 \text{ m}^3/\text{s}$). Apenas a intensidade dos fenômenos relatados aumenta, com atenção especial para a velocidade de corrente, que revolve e solubiliza com ainda mais intensidade os flocos anteriormente já decantados na forma de sedimentos de fundo, arrastando-os para a zona costeira (Situação A, da Figura 30).

Figura 32 - Modelo de transporte de material em suspensão baseado nas vazões de permanência. Capacidade de entrada da cunha salina no interior do estuário é inversamente proporcional a pluviosidade na bacia. Maiores vazões do rio, menor atuação da cunha e conseqüente menor poder “tampão” frente as águas de baixo pH.



Verificou-se que uma frequência de amostragem semanal é insuficiente para estabelecer relações lineares conclusivas dentre os diversos cruzamentos realizados. A interações entre os diversas forçantes atuantes no estuário, requer possivelmente que mais pontos, em diferentes profundidades, em espaços de tempo mais curtos, com adição de parâmetros complementares, e uso principalmente de equipamentos complementares de medição hidrológica e físico-química seja necessário para que se possa afirmar com maior segurança detalhes do comportamento do pH no estuário, e os reflexos da DAM neste ambiente.

A exemplo, eventos de pluviosidade com duração menor que 3 dias, passavam muitas vezes despercebidos nas leituras, uma vez que a frequência era semanal. Precipitações com alto volume de chuva e em curto espaço de tempo, não eram amostradas em virtude deste “timing” entre uma e outra campanha. D’Aquino (2010), demonstrou em uma estação coletando dados em intervalos consecutivos de tempo instalada próximo ao ponto Balsa, no baixo estuário, uma mudança de pH de 5,3 a 4,3 em menos de 24 horas. Uma estação coletando dados imediatos de pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, vazão e velocidade de corrente em intervalos horários, em funcionamento durante 1 ano hidrológico e em diferentes profundidades

permitiria um melhor conhecimento das relações entre a DAM e o estuário do rio Araranguá.

Conforme a Tabela 5 o estuário em 43 das 52 campanhas, operou em Modo Marinho, se mostrando capaz de “neutralizar” e precipitar os metais/acidez oriunda da DAM de montante. O que reforça a importância deste ambiente para a qualidade da água na zona costeira. No entanto, estes contaminantes, são depositados junto ao sedimento de fundo do estuário. Se não revolvidos e arrastados nas ondas de cheia, durante atuação do “Modo Fluvial” há uma tendência destes estarem acumulando no fundo do estuário. Conhecer este sedimento é fundamental, para avaliação da qualidade dos ambientes envolvidos. Igualmente, campanhas sistemáticas de qualidade de água e sedimento, com avaliação principalmente de metais são necessárias para melhores avaliações dos processos envolvendo DAM e estuário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante este trabalho, teve-se o objetivo de descrever o comportamento dos valores de pH no estuário do rio Araranguá pela particularidade de ser o recipiente das drenagens ácidas oriundas das atividades de mineração de carvão na região carbonífera de Santa Catarina.

Mesmo com a influência da entrada de águas salinas no estuário, e da diluição provocada por aportes de águas não impactadas pela DAM, o trecho estuarino avaliado é preferencialmente ácido, demonstrando que os impactos de geração de acidez das áreas mineradas são percebidos até a foz ou exutório final da bacia hidrográfica.

O padrão que se verificou durante o desenvolvimento deste trabalho é o de dependência da vazão, e conseqüentemente da pluviometria. Não foi observado neste estudo relações entre pH e salinidade no estuário que variassem em função da maré astronômica e meteorológica, e em virtude da direção e/ou intensidade dos ventos.

Em condições de vazão consideradas médias, o rio Mãe Luzia com valores de pH ácidos traz floculados de característica cor laranja em suspensão desde a confluência dos rios Cedro e Manoel Alves. Com a ocorrência de eventos pluviométricos, o pH imediatamente sobe em virtude da diluição, porém após a passagem da onda de cheia ou enchente relâmpago ele tende a reduzir, demonstrando a carga ácida carregada. À medida que vai se distanciando das áreas fonte, os valores de pH vão aumentando, até chegar em valores dentro da neutralidade na foz. Durante este caminho de elevação do pH, os metais dissolvidos floculam e decantam no interior do estuário. A acidez é neutralizada, o efeito filtrante do estuário é percebido.

Em condições de alta vazão, a força da corrente revolve o fundo arrastando e ressuspensando os flocos que já se encontravam decantados. São encontrados flocos em suspensão dispersos por todo o estuário, sendo que em eventos extremos são percebidos na areia da praia e zona de arrebenção junto a foz. O estuário não tem tempo de residência suficiente para neutralizar/precipitar eventuais metais dissolvidos, exportando os flocos formados para a zona costeira. Embora ocorra a exportação dos sedimentos, não foram medidos pH ácidos na zona costeira durante estes eventos.

Em condições de baixa vazão as águas salinas de pH superior a 7, adentram pelos afluentes Rio Mãe Luzia e Itoupava, apresentando em um primeiro momento uma cunha salina bem aparente, com estratificação. A acidez é neutralizada, o efeito filtrante do estuário é novamente percebido, devido a mistura das águas. Poucos flocos em suspensão são observados, já que tendem a decantar-se mais facilmente, haja vista pouca ou quase nenhuma velocidade de corrente. Se a situação de baixa vazão persiste por períodos superiores a 15 dias, o estuário torna-se bem misturado, as águas ficam salobras e/ou salinas, com pH próximos a 7,0.

Os padrões hidrodinâmicos estuarinos e de transporte de MPS defendidos por D'Aquino (2004), Schettini; Toldo, (2006), D'aquino; Pereira Filho; Schettini, (2010), Couceiro e Schettini (2010), Barreto e Schettini (2014) e Couceiro (2015) foram evidenciados, sendo que o comportamento do pH em muito se assemelha ao do Material Particulado em Suspensão.

Com relação a uma eventual contribuição do estuário do rio Araranguá para acidificação oceânica, esta contribuição não fica claramente caracterizada, uma vez que não foram identificados valores de pH ácidos, ou fora da média oceânica nos pontos costeiros avaliados, embora ocorra a exportação dos sedimentos.

Verificou-se que uma frequência de amostragem semanal é insuficiente para estabelecer relações lineares conclusivas dentre os diversos cruzamentos realizados. A interações entre os diversas forçantes atuantes no estuário, requer possivelmente que mais pontos, em diferentes profundidades, em espaços de tempo mais curtos, com adição de parâmetros complementares seja necessário para que se possa afirmar com maior segurança detalhes do comportamento do pH no estuário, e os reflexos da DAM neste ambiente. Principalmente para marés, ventos e velocidade de corrente, que variam em um intervalo de horas ou menos, uma avaliação semanal se torna pouco representativa. Uma estação coletando dados imediatos de pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, vazão e velocidade de corrente em intervalos horários, e em diferentes profundidades, haja vista comportamento altamente estratificado deste estuário permitiria um melhor conhecimento das relações entre a DAM e o estuário do rio Araranguá.

Dos períodos avaliados, o estuário operou em Modo Marinho, por mais de 80% do tempo, se mostrando capaz de neutralizar e precipitar os metais/acidez oriunda da DAM de montante. Supõe-se estes, estarem sedimentando junto ao fundo do estuário.

Se não revolvidos e arrastados nas enchentes relâmpago, durante atuação do Modo Fluvial há uma tendência de estarem acumulando no fundo do estuário. Conhecer este sedimento de fundo e de corrente, com a avaliação de metais, potencial redox, entre outros parâmetros específicos é fundamental, para avaliação da qualidade dos ambientes envolvidos. Igualmente, campanhas sistemáticas de qualidade de água e sedimento, com avaliação principalmente de metais são necessárias para melhores avaliações dos processos envolvendo DAM e estuário, e principalmente possíveis efeitos destes contaminantes na biota local.

Este trabalho descreveu a relação entre as condições de pH no estuário do rio Araranguá em relação as vazões e pluviometria na bacia hidrográfica. Ainda, demonstrou as condições para decantação e exportação de flocos formados em consequência do impacto por DAM nos recursos hídricos superficiais para a zona costeira adjacente, indicando uma leve melhora nos dados atuais de pH em comparação aos últimos anos.

Esta melhora muito provavelmente está vinculada as ações de recuperação ambiental de antigas áreas mineradas, tratamento das drenagens ácidas de mina e melhor regramento e fiscalização das atividades de mineração, realizadas nos últimos 20 anos por força de Ação Civil Pública, promovida pelo Ministério Público Federal que cobra as mineradoras e União a executarem a recuperação ambiental de antigas áreas mineradas e adoção de técnicas modernas e mais sustentáveis nas operações de lavra e beneficiamento atuais.

A apresentação deste trabalho incentiva a discussão sobre as relações entre impactos da atividade carbonífera no ambiente estuarino e costeiro, até então pouco ou nada apontados, subsidiando por meio dos dados e do modelo qualitativo apresentado, ações preventivas a poluição e corretivas em um ambiente tão impactado. Além disso, fornece suporte por meio da divulgação de conhecimentos específicos acerca da hidrodinâmica estuarina local, a necessidade de preservação e gestão da APA da Costa de Araranguá e RESEX do rio Araranguá, unidades de conservação recentemente decretadas para o local de estudo.

6 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z. **Análise integrada da qualidade das águas da bacia do rio Araranguá (SC)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. 300p.

ALVES, B. G. R. **Efeitos da acidificação dos oceanos nos processos biogeoquímicos em sedimentos costeiros: Experimentos in situ e em laboratório**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL. **Carvão Mineral, Dados Estatísticos Ano 2016**. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/conteudo/gm_estatisticas/estatisticas_2016.pdf>. Acesso em: 1 maio. 2018.

ACHTERBERG, E. P. et al. Metal behaviour in an estuary polluted by acid mine drainage: the role of particulate matter. **Environmental Pollution**, v. 121, p. 283–292, 2003.

BARRETO, G.A.M.; SCHETTINI, C.A.F. 2014. Papel da maré e da descarga fluvial na circulação do estuário do Rio Araranguá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19(3): 7-17.

BARRETO, G. A. M. et al. Transporte de sedimentos em suspensão em um estuário altamente estratificado sob condições de descarga fluvial transiente. v. 38, n. 3, p. 225–234, 2011.

BACK, A. Hidrologia e Recursos Hídricos. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R. DOS; CITADINI-ZANETTE, V. (Eds.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 41–49.

BACK, A. J. Viabilidade da cobrança pela utilização de águas para irrigação na bacia do rio Araranguá. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma: UNESC, v. 4, n.2, p. 69-76, 1998.

BRAUNGARDT, C. B. et al. Metal geochemistry in a mine-polluted estuarine system in Spain. **Applied Geochemistry**, v. 18, n. 11, p. 1757–1771, 2003.

BIANCHI, T.S. **Biogeochemistry of Estuaries**. Oxford University Press, Oxford, 2007 720 p

BRASIL.Juiz de Direito Federal 4ª Região.**Histórico da Ação Civil Pública do Carvão.Portal da Ação Civil Pública do Carvão 2005**.Disponível em: <<http://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/>>. Acesso em: 25 set. 2011.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.1º **Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera**

do Estado de Santa Catarina. Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2007. 201p. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**2º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2008. 240 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**3º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2009. 312 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**4º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2010. 318 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**5º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2011. 333 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**6º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2012. 218 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**7º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2013. 254 p.Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL.Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença.**8º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina.** Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal.

1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2014. 284 p. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL. Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença. **9º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina**. Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2015. 317 p. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL. Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença. **10º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina**. Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2016. 272 p. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

BRASIL. Grupo Técnico de Assessoramento ao Cumprimento da Sentença. **11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina**. Processo nº. 2000.72.04.002543-9. Justiça Federal. 1ª Vara Federal de Criciúma, SC. Criciúma, 2017. 308 p. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA>. Acesso em 01 de jun. 2018.

CALDEIRA, KEN & E WICKETT, MICHAEL. Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. **Nature**. **425 N°25**. p.365. (2003).

CAMERON, W. N.; PRITCHARD, D. W. Estuaries. In: **Goldberg, E. D.; McCave, I. N.; O'Brien, I. H. & Steele, I. H. eds. The Sea**. New York, John Wiley & Sons. p. 306-324. 1963.

CAMPOS, M.L.A.M. **Introdução à biogeoquímica de ambientes aquáticos**. Campinas, Ed. Átomo. 209p.2010.

CÁNOVAS, C. R. et al. Wash-out processes of evaporitic sulfate salts in the Tinto river: Hydrogeochemical evolution and environmental impact. **Applied Geochemistry**, v. 25, n. 2, p. 288–301, 2010.

CÁNOVAS, C. R. et al. Science of the Total Environment Water acidification trends in a reservoir of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 400–411, 2016.

CHINH, L. D.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Integrated environmental assessment and pollution prevention in Vietnam: the case of anthracite production. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1768–1777, 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Estudo preliminar da bacia do rio Araranguá**. São Paulo, 1974.

COELHO, M. C. Identificação da cunha salina no estuário do rio Araranguá, SC. Universidade do Vale do Itajaí, Curso de Oceanografia. Relatório Final. Itajaí, 2010.

CORRÊA, P. F. et al. **Mineração de carvão no Brasil: Uma análise bibliométrica**. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. **Anais...**Criciúma: 2017

COUCEIRO, M. A. A. **Dinâmica de sedimentos coesivos em um estuário altamente estratificado: rio Araranguá, SC**. Tese de doutorado em oceanografia. Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

COUCEIRO, M. A. A.; SCHETTINI, C. A. F. Estudo da dinamica dos sedimentos em suspensao do estuario do rio rarangua (sc): Possiveis efeitos da drenagem acida da atividade de mineracao de carvao. **Geociencias**, v. 29, n. 2, p. 251–266, 2010.

D'AQUINO, C. DE A.; PEREIRA FILHO, J.; SCHETTINI, C. A. F. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 165–175, 2010.

DICKSON, A.G., SABINE C. L. & CHRISTIAN J. R. **Guide to best practices for ocean CO2 measurements**. PICES Special Publication 3: 1-191.2007.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Diagnóstico da qualidade das águas na bacia do rio Araranguá**. In: Controle da poluição hídrica decorrente da mineração do carvão. Relatório Final. São Paulo, 1999. 172p

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **A faixa costeira meridional de Santa Catarina**. Brasil, Rio de Janeiro; 1958.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Diagnóstico da qualidade das águas na bacia do rio Araranguá. In: **Controle da poluição hídrica decorrente da mineração do carvão**. Relatório Final. São Paulo, 1999. 172p

DNPM –Departamento Nacional de Produção Mineral. **Estudo da poluição na região carbonífera de Criciúma, SC. Uma consideração sobre medidas para controle de poluição**. São Paulo, 1991. 126p.

DYER, K.R. **Estuaries: A physical introduction**. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 1997. 195 p.

ECP – Engenheiros Consultores e Projetistas, FATMA – Fundação do Meio Ambiente. **Programa de conservação e recuperação ambiental da região sul de Santa Catarina: Projeto A – Monitoramento Ambiental**. Florianópolis, 1982.

FARIA, C. R. S. M.; JARDIM, T. D. M. **Rio+20: Oceanos, mares e zonas costeiras**. v. 55, n. 61, 2014.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente. **Levantamento da qualidade das águas de Forquilha Grande, município de Araranguá, SC**. Relatório Preliminar. Não publicado, 1976. 18p

FATMA - Fundação do Meio Ambiente. **Qualidade dos recursos hídricos da bacia do rio Araranguá**. Parecer técnico. Criciúma: CERSU/FATMA, 1991. 7p

FATMA - Fundação do Meio Ambiente. **Monitoramento da qualidade dos recursos hídricos da bacia do rio Araranguá**. Relatório. Criciúma, SC. 1996.

GALVÁN, L. et al. Application of the SWAT model to an AMD-affected river (Meca River, SW Spain). Estimation of transported pollutant load. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 3–4, p. 445–454, 2009.

HOOD, M., BROADGATE, W., URBAN, E. & GAFFNEY, O. **Acidificação Oceânica - Sumário para formuladores de políticas públicas** –2º Simpósio sobre oceanos em um mundo com elevado CO₂ (2009). Disponível em: www.ocean-acidification.net Acesso em 23 de outubro de 2018.

IOC/UNESCO, IMO, FAO, U. **A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability**. Paris: IOC/UNESCO, 2011.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, 2007.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Impacto da mineração do carvão sobre os recursos hídricos da bacia carbonífera de Santa Catarina**, Porto Alegre, 1978, 4v.

JICA - Japan International Cooperation Agency. **The feasibility study on the Federative Republic of Brazil**. Japão, 1998. Main reporter. 397p

KJERFVE B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: **Estuarine Ecology**. Ed. J.W. Day Jr., C.H.A.S. Hall, W.M. Kemp, A. Yáñez-Arancibia. Wiley, New York. 1987.

LIMA, G. F.; LAYRARGUES, P. P. Mudanças climáticas, educação e meio ambiente: para além do conservadorismo dinâmico. **Educar em Revista**. Curitiba, Brasil, v. Edição Esp, n. 3, p. 73–88, 2014.

LOPES, R. P.; SANTO, E. L.; GALATTO, S. L. Mineração de carvão em Santa Catarina: Geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R. DOS; CITADINI-ZANETTE, V. (Eds.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 51–70.

MACÍAS, F. et al. A geochemical approach to the restoration plans for the Odiel River basin (SW Spain), a watershed deeply polluted by acid mine drainage. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 5, p. 4506–4516, 2017.

MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P. Geoquímica da drenagem ácida. In: **DIAS, L. D.; MELLO, J. W. V. (Org.). Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p. 45-57.

MILIOLI, G. Indústria de Mineração de carvão no Brasil: Ideias para o Futuro. O caso de Santa Catarina. In: MILIOLI, G.; SANTOS, R. DOS; CITADINI-ZANETTE, V. (Eds.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 275–302.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.

NIETO, J. M. et al. Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel rivers (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) and bioavailability of the transported metals to the Huelva Estuary. **Environment International**, v. 33, n. 4, p. 445–455, 2007.

SÁNCHEZ-RODAS, D. et al. Arsenic speciation in river and estuarine waters from southwest Spain. **Science of the Total Environment**, v. 345, n. 1–3, p. 207–217, 2005.

ORR, J. C., ET AL. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms, **Nature**, **437(7059)**, **681–686**. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARARANGUÁ. **Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de Fixação da Barra do Rio Araranguá**. Araranguá: 2011.

PROJETO PIAVA SUL. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Araranguá: Fase A**. Criciúma: 2011.

ROMANO NETO, R. et al. **Monitoramento de indicadores ambientais na Bacia Carbonífera de Santa Catarina**. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. **Anais...**Criciúma: 2017

SABINE, C.L. FEELY, R.A. GRUBER, N. KEY, R.M. LEE, K. BULLISTER, J.L. WANNINKHOF, R. WONG, C. S. WALLACE, D. W. R. TILBROOK, B. MILLERO, F. J. PENG, T. KOZYR, A. ONO, T. RIOS, A.F. The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. **SCIENCE V. 305 N° 5682: 367-371**. 2004

SANTA CATARINA. **Plano de gestão e gerenciamento da bacia do rio Araranguá: zoneamento da disponibilidade e da qualidade dos recursos hídricos**. EPAGRI – Climerh, EEUrussanga, Nesc/Nupea/Nupeam/CPRM. Florianópolis, 1997b. 217 p.

SCHETTINI, C. A. F.; TOLDO, E. Fine sediment transport modes in the Itajai-Açu estuary, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 2004, n. 39, p. 515–519, 2006.

SIECESC/SATC, DNPM, CPRM. Sindicato da Indústria de Extração de Carvão de SC/Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão; Departamento Nacional de Produção Mineral; Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais. **Relatório de Monitoramento das Águas da Bacia Carbonífera de Santa Catarina - 11º a 15º Campanhas de Monitoramento**. Criciúma, SC. 2006.

SILVA, M. Estuários: Critérios para uma classificação ambiental. **Revista Brasileira**

de Recursos Hídricos, v. 5, p. 25–35, 2000.

TOLDO JR, E. et al. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: **Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 35 - 42, jun. 2006**. ISSN 1807-9806. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19511>>.

UNESC, DNPM, SIECESC. Universidade do extremo sul catarinense, Departamento Nacional de Produção Mineral, Sindicato da Indústria de Extração de Carvão de SC. Relatório de Monitoramento das Águas da Bacia Carbonífera de Santa Catarina - 1ª a 10ª Campanhas de Monitoramento. Criciúma, SC. 2004.

VASCONCELOS, F. M.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Avaliação da qualidade de água-Base tecnológica para a gestão ambiental**. 1ª ed., Belo Horizonte, MG: SMEA, 2009.

VALENTE, T. et al. Characterization of water reservoirs affected by acid mine drainage: geochemical, mineralogical, and biological (diatoms) properties of the water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 7, p. 6002–6011, 2016.

VILLA, M. et al. Uranium pollution in an estuary affected by pyrite acid mine drainage and releases of naturally occurring radioactive materials. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 7, p. 1521–1529, 2011.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo 245p. 1975.

VOLPATO, S. B.; MENEZES, C. T. B. DE; SILVA, J. V. F. DA. Recuperação ambiental de ecossistemas aquáticos em regiões estuarinas: estudos aplicados para o tratamento de sedimentos contaminados pela drenagem ácida de mina na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 313–316, 2017.

WIDDICOMBE, S, SPICER, J. I. Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us? **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.** v. 366, n. 1-2, p. 187-197. 2008.

APÊNDICE 1

Tabelas detalhadas referentes a análise exploratória.

Tabela A1 - Resumo análise exploratória considerando todas as análises em superfície nos pontos localizados no interior do estuário.					
	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	5,94	1672,61	0,92	22,07	5,05
Mediana	6,10	278	0,12	22,1	5
Moda	6	1185	0,06	21,1	5
Minimo	3,24	24,1	0,02	13,5	1,9
Máximo	7,8	28000	17,8	30	9,5
D. Padrão	0,99	3359,28	2,01	3,55	1,03
CV%	0,16	2	2,17	0,16	0,20
Q. Inf.	5,2	132	0,07	19,67	4,5
Q. Sup.	6,7	1558	0,71	24,42	5,5
Q. Sup. - Mediana	0,59	1280	0,59	2,32	0,5
Mediana - Q. Inf.	0,9	146	0,05	2,42	0,5
Q Sup. - Q inf.	1,5	1426	0,64	4,75	1
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	8,95	3697	1,68	31,55	7
Discrepantes Superiores	0	38	42	0	11
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	2,94	-2007	-0,90	12,55	3
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	2

Tabela A2 - Resumo análise exploratória considerando as análises em superfície por blocos: Zona costeira (Rincão e Morro dos Conventos).					
	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	8,21	46996,39	31,68	22,17	5,49
Mediana	8,23	49550	33,6	22,7	5,25
Moda	8,3	51100	34,7	22	5,1
Minimo	7,84	14080	8,41	13,8	3,6
Máximo	8,89	53600	36,6	29	10,8
D. Padrão	0,19	7079,67	5,14	3,78	1,12
CV%	0,02	0,15	0,16	0,17	0,2
Q.. Inf.	8,04	43950	29,47	19,22	4,9
Q. Sup.	8,33	51525	35	25	6
Q. Sup. - Mediana	0,1	1975	1,4	2,3	0,75
Mediana - Q. Inf.	0,18	5600	4,12	3,47	0,35
Q Sup. - Q inf.	0,28	7575	5,52	5,77	1,1
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	8,75	62887,5	43,28	33,66	7,65
Discrepantes Superiores	1	0	0	0	5
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	7,62	32587,5	21,18	10,56	3,25
Discrepantes Inferiores	0	4	4	0	0

Tabela A3 - Resumo análise exploratória considerando as análises em superfície por blocos: Estuário Superior (Mãe Luzia, BR 101 e Fazenda)

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	5,39	1194,83	0,64	21,96	5,07
Mediana	5,36	244	0,11	21,8	5
Moda	6	220	0,05	21,8	5
Mínimo	3,24	24,1	0,04	13,5	1,9
Máximo	6,75	16510	9,98	30	8,5
D. Padrão	0,84	2522,18	1,48	3,47	1,03
CV%	0,15	2,11	2,31	0,15	0,2
Q.. Inf.	4,89	134,55	0,07	19,7	4,6
Q. Sup.	6,13	1190	0,54	24,2	5,6
Q. Sup. - Mediana	0,76	946	0,43	2,4	0,6
Mediana - Q. Inf.	0,47	109,45	0,04	2,1	0,4
Q Sup. - Q inf.	1,23	1055,45	0,47	4,5	1
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	7,98	2773,17	1,25	30,95	7,1
Discrepantes Superiores	0	16	18	0	6
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	3,04	-1448,62	-0,6425	12,95	3,1
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	2

Tabela A4 - Resumo análise exploratória considerando as análises em superfície por blocos: Estuário Inferior (Balsa)

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	6,35	4172,43	2,38	22,41	5,01
Mediana	6,48	2390	1,27	22,9	4,9
Moda	6,83	1185	0,08	16,7	4,9
Mínimo	5,34	91,1	0,05	14,5	3,6
Máximo	7,8	28000	17,8	29	9,5
D. Padrão	0,48	5164,20	3,19	3,90	0,95
CV%	0,07	1,23	1,33	0,17	0,19
Q.. Inf.	5,96	371,5	0,16	19,1	4,5
Q. Sup.	6,7	5232,5	2,89	25,42	5,22
Q. Sup. - Mediana	0,21	2842,5	1,62	2,52	0,32
Mediana - Q. Inf.	0,52	2018,5	1,1	3,8	0,4
Q Sup. - Q inf.	0,73	4861	2,73	6,32	0,72
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	7,8	12524	6,99	34,91	6,31
Discrepantes Superiores	0	3	5	0	3
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	4,86	-6920	-3,93	9,61	3,41
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	0

Tabela A5 - Resumo análise exploratória considerando todas as análises em superfície nos pontos localizados no interior do estuário, no Inverno.

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	5,95	1448,14	0,77	17,79	6,11
Mediana	6,13	299	0,13	17,3	5,9
Moda	6,7	#N/D	0,05	16,4	5,1
Minimo	3,6	42,9	0,03	13,5	4,3
Máximo	7,74	13360	7,98	22,4	8,5
D. Padrão	0,99	2525,37	1,46	2,29	1
CV%	0,16	1,74	1,88	0,12	0,16
Q.. Inf.	5,21	114,42	0,06	16,3	5,3
Q. Sup.	6,7	1645,25	0,74	19,7	6,6
Q. Sup. - Mediana	0,57	1346,25	0,61	2,4	0,7
Mediana - Q. Inf.	0,92	184,57	0,07	1	0,6
Q Sup. - Q inf.	1,49	1530,82	0,68	3,4	1,3
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	8,93	3941,48	1,76	24,8	8,55
Discrepantes Superiores	0	8	9	0	0
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	2,97	-2181,81	-0,96	11,2	3,35
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	0

Tabela A6 - Resumo análise exploratória considerando todas as análises em superfície nos pontos localizados no interior do estuário, no Outono.

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	6,04	913,58	0,47	21,65	5,04
Mediana	6,11	247	0,11	21,4	5
Moda	7,35	300	0,06	21,5	5,1
Minimo	4,14	75,8	0,04	18,5	3,8
Máximo	7,48	7250	4,11	27,3	9,5
D. Padrão	0,92	1484,44	0,82	1,87	0,74
CV%	0,15	1,62	1,74	0,08	0,14
Q.. Inf.	5,33	155,5	0,08	20,82	4,72
Q. Sup.	6,77	857	0,39	22,8	5,20
Q. Sup. - Mediana	0,65	610	0,28	1,4	0,20
Mediana - Q. Inf.	0,78	91,5	0,03	0,57	0,27
Q Sup. - Q inf.	1,44	701,5	0,31	1,97	0,47
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	8,93	1909,25	0,86	25,76	5,91
Discrepantes Superiores	0	10	10	1	4
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	3,17	-896,75	-0,38	17,86	4,01
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	5

Tabela A7 - Resumo análise exploratória considerando todas as análises em superfície nos pontos localizados no interior do estuário, na Primavera.

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	5,73	3422,99	1,97	23,16	4,78
Mediana	6,00	492	0,22	23,20	4,80
Moda	6,15	66,60	0,04	23,20	5
Minimo	3,24	37,30	0,02	19,20	3,5
Máximo	7,80	28000	17,8	27,20	6,3
D. Padrão	1,11	5491,74	3,35	1,99	0,64
CV%	0,19	1,60	1,69	0,08	0,13
Q.. Inf.	5,10	126,80	0,07	21,70	4,3
Q. Sup.	6,72	4920	2,73	24,50	5,2
Q. Sup. - Mediana	0,72	4428	2,51	1,30	0,4
Mediana - Q. Inf.	0,90	365,20	0,15	1,50	0,5
Q Sup. - Q inf.	1,62	4793,20	2,66	2,8	0,9
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	9,15	12109,80	6,72	28,70	6,55
Discrepantes Superiores	0	6	8	0	0
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	2,67	-7063	-3,92	17,50	2,95
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	0

Tabela A8 - Resumo análise exploratória considerando todas as análises em superfície nos pontos localizados no interior do estuário, no Verão.

	pH	Condutividade (microS/cm)	Salinidade (ppt)	Temperatura ©	OD (mg/l)
Média	6,02	901,34	0,47	26,01	4,23
Mediana	6,19	222,4	0,1	25,95	4,2
Moda	6,3	#N/D	0,07	23,8	3,8
Minimo	3,62	24,1	0,04	22,9	1,9
Máximo	7,43	8000	4,55	30	5,7
D. Padrão	0,94	1589,45	0,89	1,91	0,72
CV%	0,15	1,76	1,89	0,07	0,17
Q.. Inf.	5,23	132,52	0,07	24,2	3,8
Q. Sup.	6,65	1192,5	0,55	27,52	4,7
Q. Sup. - Mediana	0,46	970,1	0,45	1,57	0,5
Mediana - Q. Inf.	0,95	89,87	0,03	1,75	0,4
Q Sup. - Q inf.	1,4	1059,97	0,48	3,32	0,9
Q Sup. +1,5x(Qsup. - Qinf.)	8,7	2782,46	1,27	32,51	6,05
Discrepantes Superiores	0	3	5	0	0
Q Inf. - 1,5x (Qsup. - Q inf.)	3,1	-1457,4375	-0,65	19,21	2,45
Discrepantes Inferiores	0	0	0	0	2

APÊNDICE 2

Resumo qualitativo das condições verificadas em campo.

Campanha	Data	Condições Climáticas	Observações
1ª	11/07/2018	Tempo bom, sob massa de ar frio após semana anterior chuvosa.	Mar agitado, com presença de algas marrons. Vento sul moderado, maré de quadratura enchendo. Praticamente sem salinidade no estuário, com pH 4,8 no ML, 5,7 na FZ e 6,8 na BS. ML esverdeado, com flocos laranja em suspensão. FZ com transparência total, "robalo" visualizado no ponto FZ.
2ª	18/07/2018	Tempo bom, sob neblina constante. Na semana anterior grande pluviosidade na região.	Mar calmo, com presença de algas marrons. Maré de sizígia, vazante. Salinidade no estuário aumentou com relação à semana anterior, e ponto BS e IT com águas marrons, devido sedimentos carregados pelas chuvas da semana. Sem diferença entre as profundidades nos pontos avaliados. No ML, águas verdes e cristalinas com flocos laranja em bolsões em suspensão. pH ML 5,2 e BS 6,8 enquanto IT 7,3.
3ª	24/07/2018	Garoa leve. Semana anterior chuvosa.	Mar agitado, de ressaca com água turva. Baixa salinidade no estuário. Sem diferenças entre as profundidades avaliadas. Vento de direção W (minuano). Corrente aparentemente "parada" em todos pontos do estuário. Balseiros comentaram que com este vento o rio vaza. O que prende o rio é o vento sul. pH ML 4,3 e BS 6,7 enquanto IT 6,8. Em conversa com populares, há anos, não se tem mais "percebido" peixes evadindo em direção ao mar, "tentando fugir da água do carvão". "No passado, acontecia muito. Eventualmente, quando há uma enchente muito grande nas cidades (Araranguá/Criciúma) no verão, eles percebem água mais suja que afugenta os peixes, mas parece ser da própria sujeira das cidades, e não de uma ou outra atividade industrial em si. Disse ainda, que a muito é pescado aqui no estuário, Bagre, Linguado, Anchova, Robalo, Tainha etc., até camarão nos anos que dão inverno seco, que a maré entra bem, as larvas entram no estuário e crescem, ficando ali até não ter uma "enchente grande" que carregue tudo pra fora". Há uns 4 ou 5 anos atrás, quando teve um inverno seco destes, se pegou muito camarão no estuário perto do verão. Lagostin, Siri, entre outros, também são encontrados.
4ª	01/08/2018	Tempo bom, últimos 3 dias secos, embora os 3 anteriores com grande pluviosidade.	Vento sul e mar médio. No rincão valores de salinidade menores, indicaram "pluma" de água naquela direção, quando comparado com os valores medidos no morro. Mesmo assim, pH dentro da normalidade para águas marinhas (8,1 e 8,5). Vários "lobos marinhos" descansando na praia, bem como pinguins mortos. Não verificada diferença entre as profundidades avaliadas. No ML, pH 3,8 água de cor verde, com flocos laranja em suspensão. FZ e BR com pH baixo (5,5) e BS com pH 6,5 e corrente vazante forte. No IT, pH 6,8 e águas marrons, devido início do preparo das quadras de arroz.
5ª	08/08/2018	Tempo bom, semana seca com praticamente 10 dias de estiagem. Vento W (minuano)	Mar calmo, vários pinguins mortos ao longo da praia. No ponto BS, nível muito baixo, com balsa parada devido não haver profundidade segura, pH 5,95 e alguma salinidade no estuário, devido estiagem. Fatura de peixes neste dia para pescadores da balsa. Na FZ, pH 5,6 e salinidade presente, chamando atenção cor esmeralda da água. ML pH 3,8 e IT 7,7 com alguma salinidade presente, indicando avanço da salinidade além destes pontos.
6ª	16/08/2018	Tempo bom, estiagem perdura por mais de 15 dias. Vento sul.	Mar médio. Coletas em vazante, maré de sizígia. No estuário, chama atenção alta heterogeneidade entre superfície e meio d'água no p ponto BS, indicando cunha salina bem formada. Siris vistos no ponto BS, com pH 6,5/7,7. Na FZ, sem diferença entre profundidades, pH 5,6 embora haja salinidade na água. Pontos IT e ML com salinidade presente.
7ª	22/08/2018	Chuva, desde dois dias anteriores, com frente fria passando pela região.	Mar médio. Assim como na 4ª campanha, no rincão valores de salinidade menores, indicaram "pluma" de água naquela direção, sendo que desta vez salinidade ficou em 23 ppm x 30ppm no morro. pH também houve diferenciação, 7,9 rincão x 8,3 no morro. Pinguins e tartaruga mortas encontradas ao longo da praia do rincão. No estuário BS e FZ, pH 6,2 e 6,0, com salinidades semelhantes nas duas profundidades avaliadas indicando água mais misturada. No momento da coleta, maré era enchente, e verificava-se fraca corrente de

			vazante em superfície. ML com pH 5,0, bolsões de flocos laranja em suspensão e IT com pH 7,0 e marrom.
8 ^a	29/08/2018	Tempo bom, semana seca, cerca de 5 dias sem chuvas.	Mar calmo. Vento nordeste. Condições iguais no rincão e no morro. Tartaruga e lobo marinho encontrados na praia. Maré baixa, com ampla faixa de areia e "coroa", sendo que pescadores realizavam coleta de "minhoca da praia". Valores normais no mar. No estuário, sem diferenças entre as profundidades, com pH 6,7 na BS e 6,0 na FZ, nível baixo. ML com pH 3,6 e IT 7,2. Alguma salinidade verificada nos pontos BS e FZ, e nenhuma no IT e ML.
9 ^a	05/09/2018	Tempo bom. 4 dias anteriores com bons índices pluviométricos.	Mar em ressaca, agitado. Faixa de areia praticamente inexistente. Água marrom em todos os pontos do estuário, devido chuvas. Praticamente sem salinidade no estuário, e nível alto de água no rio. BS pH 6,7, IT 6,8 e ML 5,2. No ML bolsões de flocos laranja em suspensão. Rizicultores com "bombas" ligadas captando águas para enchimento das canchas.
10 ^a	14/09/2018	Chuva, semana úmida, com muita umidade vinda do mar, com pancadas de chuva dispersas por toda região. Vento predominante nordeste.	No mar, dados de condutividade e pH típicos, Na BS sem presença clara de cunha salina e pH 6,6, semelhante ao ponto FZ e BR, onde também foi 6,6. Rio amarronzado, devido chuvas dispersas. Muitos pescadores na balsa, pegando tainhotas. No Mãe luzia, cor verde esmeralda e pH 4,9. Conversa com rizicultor, Sr. Damázio o mesmo relatou registros de pessoal pescando tainhotas no mãe luzia entre 08 e 10 anos atrás, quando a água salgada entra em períodos de baixa pluviosidade. Para uso nas quadras, faz controle com condutivímetro de bolso, vendido pela "agropecuária".
11 ^a	19/09/2018	Tempo bom, após 3 dias de chuvas consideráveis em toda região, sendo que a semana anterior foi chuvosa.	Mar em ressaca, com ciclone em alto mar influenciando a aproximadamente 5 dias. Vento praticamente inexistente pela manhã, com o uma suave brisa NE no final da manhã. No morro dos conventos, pH e salinidade (26,6ppt/7,9pH), menor que no rincão, sugerindo que o Rio Araranguá esteja drenando para sul. Na BS, água marrom, com muitos restos de vegetação. Sem diferença entre as 2 profundidades avaliadas, pH 6,2 e praticamente sem sal no estuário. Antigo pescador da região de morro agudo, mencionou que o "boto" não aparece mais porque a barra não tem canal. Segundo ele, é aproximadamente 0,5m de profundidade, e apenas no centro não mais que 1,5m, ou seja, praticamente fechada para entrada do "boto". No ponto FZ, pH 6,1, IT 7,1, e ML com muitos flocos laranja, e pH 5,13.
12 ^a	26/09/2018	Garoa, chuvas e aberturas de sol durante últimos dias. Vento nordeste.	No ML, pH 3,7. Corrente forte, com vários resíduos de vegetação. Rizicultor comentou que algumas quadras vizinhas são "regadas" com água da mina (rio mãe luzia) e que esta normalmente se dá melhor, pois não "cria" caramujo no arroz. Já a água do Manoel Alves (que também usa em sua propriedade), cria caramujos. Comentou que faz controle da água para irrigação com condutivímetro de bolso. Com salinidade maior que 2 ppm, não utilizam. Comentou ainda que há cerca de 2 anos atrás, em forte estiagem houve perdas no arroz, devido sal chegar até "meleiro", assim não puderam puxar água, e arroz secou BS com pH 5,6 e IT 7,2. FZ com 6,0. Na BS, uma certa salinidade encontrada 2,1 ppm sem diferenças perceptíveis entre uma e outra profundidade. Pescadores comentaram estar pegando várias tainhas no dia de hoje, lua cheia. No mar, tanto morro dos conventos como barra velha, com pH acima de 8,0 e salinidade normal.
13 ^a	03/10/18	Muita chuva. Registros de alagamentos em Araranguá e região.	Na BS, balsa fechada em virtude da alta vazão do rio. No Mar, pH 7,98 na Barra Velha e 8,1 no Morro dos Conventos. Coleta na Barra Velha realizada no dia posterior, com vento Minuano Oeste de 6h, após 24h de vento sul. Salinidade 30ppm, e 31ppm no Morro. Águas marrons, turvas, com pH semelhantes 6,3 na BS e 6,5 na FZ. Maiores chuvas nos últimos 3 meses. No mãe luzia, pH 5,6 mais alto que o normal, muito provavelmente a diluição da chuva. No Itoupava, pH 6,73. Sem salinidade no estuário.
14 ^a	10/10/2018	Nublado, entrada de frente fria. Últimas chuvas consideráveis, foram na semana passada, nos dias em que foi realizada a coleta referente a 13 ^a Campanha.	Vento sul. Nas praias, mesmo com valores de salinidade normais para mar (33,9% Rincão e 34,3% Morro dos Conventos), os valores de pH foram os mais baixos do estudo até então, 7,94/7,9. Na Balsa e Fazenda, não houve diferença entre as duas profundidades avaliadas, sendo que praticamente não há salinidade no estuário (todos pontos abaixo de 1ppm) No entanto, os pH encontrados 5,5 balsa e 4,6 fazenda, estão entre os mais baixos já encontrados no

			estudo. O que se verifica, é que com os altos índices pluviométricos da última semana, o estuário parece não ter “tempo suficiente” para neutralizar a acidez refletindo na região costeira, que normalmente tem pH entre 8,1 e 8,4. No ponto BR, pH 4,2, e no ML pH 3,41. Sem presença de sal no estuário. Diversas bombas estão captando água para rizicultura.
15 ^a	16/10/2018	Tempo Bom. 4 dias da última chuva com passagem de frente fria. Vento predominante Norte/Nordeste moderado.	Nas coletas no mar, salinidades/pH menor no morro comparado ao rincão pH 7,95/8,02, possivelmente mais influenciados pela drenagem do rio na direção sul. Na balsa, não houve diferença entre as profundidades, apesar de ter certa salinidade 1,20 ppm. pH na BS, 5,5. No FZ água límpida verde-esmeralda com pH 5,2 e salinidade menor que 1 ppm. No IT, muito sedimento, deixando o rio marrom, a água amarelada. pH 6,84. No ML, pH 4,07 cor verde escura, água clara com flocos laranja. Captações continuam nas bombas para arroz.
16 ^a	23/10/2018	Nublado. Leve garoa a noite, porem há 10 dias sem chuva. Vento sul, com frente fria entrando na região.	Nas praias, mar baixo com várias coroas formadas na praia, permitindo com que pescadores retirem “minhoca de praia”. Água do mar limpa, quase verde. No rincão, águas claras com pH 7,98 e salinidade 27,8 ppm. No morro, condições de praia e água visualmente iguais o rincão, porem com pH 8,05 e salinidade 36,2 fazendo-se perceber claramente o desvio das águas menos salinas na direção do rincão. Na BS, nível do rio baixo. Grande produtividade na pesca de robalo e tainhota. Água límpida, com estratificação visível entre as coletas. Superfície pH 5,9 e Salinidade 5,3 ppm, e meio de coluna pH 6,9 e salinidade 18, ppm. É clara a estratificação da cunha salina, com as águas doces escoando por cima destas. pH mais ácido e menos sal por cima, pH normal e alta salinidade por baixo. No ponto FZ, cunha ainda com maior grau de estratificação. pH 4,11 com salinidade 3,32 em superfície, e em meio de coluna pH 6,42, com salinidade de 18,4. No IT e ML, pouca salinidade perceptível em superfície (0,56/0,87), porem pelo grau de estratificação, imagina-se que em maiores profundidades a salinidade seja maior. Agricultor comentou que no dia anterior, mediu 1,5 ppm de sal na superfície, e seu colega, com bomba que pega água do fundo do rio, mediu 7 ppm, o que segundo ele inviabiliza o uso na rizicultura (até 2). No ML, pH 3,24. Pescadores no IT pescando tainhas e robalos.
17 ^a	30/10/2018	Sol. Pré-frontal sobre SC, abafado com vento Nordeste.	Há 3 dias, ouve expressiva chuva na região, com passagem de ciclone extratropical, com marés meteorológicas superiores a 1m e muita chuva em curto espaço de tempo. No mar, ainda agitado, água pouco turva e salinidade e pH normais. Na BS, e FZ, apenas água doce no estuário. pH semelhante nos pontos de 6,0 a 6,2, sem diferença nas profundidades e salinidade menor que 0,1 em todos os pontos. Água ainda pouco marrom, e amarelada, ainda em virtude das chuvas de 3 dias atrás. No IT, água marrom, pH 7,25 e no mãe luzia cor verde esmeralda, com pH 4,71, clara com flocos laranja em suspensão. Bombas de arroz coletando água. Rio Araranguá praticamente sem corrente.
18 ^a	02/11/2018	Nublado. Chuva na madrugada, com 2 dias anteriores com chuvas esparsas por toda região. Vento Sul.	No IT, valores normais com nível da água alto. No ML, pH 5,32 cor marrom com muitos flocos laranja. Salinidade baixa em todos os pontos, indicando apenas água doce preenchendo o estuário. No FZ com pH 6,1 sem diferença nas profundidades. Na BS pH 6,2 sem diferença de profundidades e salinidade menor que 0,1. Corrente fraca na Fazenda e Balsa, aparentemente enchente, e nível do rio bem alto. No mar, condições normais nos 2 pontos, sendo menores valores de salinidade verificados no rincão, indicando sentido do rio para NE. Mar agitado.
19 ^a	05/11/2018	Sol. Última chuva a mais de 24hs.	No mar, mar calmo de cor areia, e pH normal (8,0), nos 2 pontos. Rincão apresentou condutividade menor, mesmo com vento NE que começou a soprar pela manhã, indicando que anteriormente, a direção da foz estava drenando para N. Na BS e FZ, pH semelhantes 5.9 a 6,1, sem diferença considerável entre as profundidades. Pelos valores de condutividade, se percebe apenas água doce no estuário. Na BR 101, pH 6,2, com muitos flocos laranja em suspensão, assim como no ML, com pH 5,2. No IT, condições normais, embora pH um pouco abaixo do esperado 6.9. Todos valores de condutividade menores que 0,1.

20 ^a	28/11/2018	Tempo bom e vento NE moderado a forte. Última chuva (pancada de verão) há 4 dias. Anteriormente, período de calor, sem precipitações consideráveis.	Mar calmo, porem alto. Vento NE considerável já pela manhã. Condições praticamente idênticas no Morro e Rincão. pH 8,2, Sal 37ppm; Na BS e FZ, grande estratificação das águas. Camada superior, com pH 6,8 (BS) e 4,5 (FZ) e camada inferior 7,73 (BS) e 7,38 (FZ). Valores de salinidade indicando grande estratificação nos dois pontos, e presença de água salina, principalmente em maior profundidade. Salinidade BS 9 pmm superfície e 26 ppm em profundidade, e na FZ, 3,4 em superfície e 28ppm em profundidade. No IT, pH 6,8 e salinidade 3,22ppm, No ML pH 3,55 e salinidade 2,73, indicando presença de cunha salina até nos pontos IT e ML.
21 ^a	01/12/2018	Tempo bom, apenas chuvas de verão no dia anterior.	No mar, condições idênticas no rincão e morro dos conventos, pH 8,1 e salinidade 36. Mar calmo e sem vento. No estuário, BS e FZ estratificação na coluna água, com valores diferentes na superfície e meio de coluna. Na BS, superfície com pH 5,6 x pH 7,9 em profundidade. Quanto a salinidade, 7,05 ppm em superfície x 31,8 em profundidade indicando água salina em formato de cunha no perfil. Na FZ, condição se repete, com pH 5,1 x 7,32 em profundidade e salinidade 3,48 x 30 ppm. Nível do rio baixo, com corrente visualmente inexistente. No IT, pH 7,18 e salinidade 0,35. No mãe luzia, pH 3,36 e salinidade 2,73, indicando uma possível progressão da cunha salina maior no lado do mãe luzia.
22 ^a	04/12/2018	Tempo Bom. Dia anterior com passagem de frente fria, porém sem chuvas, apenas vento Sul. Temperatura fria para época do ano.	No rio ML, pH 4,47, enquanto no IT 7,22. A salinidade no Mãe luzia 0,3, e no Itoupava 0,11 indicando pouca presença de sal nestes. Verificaram-se maiores valores de salinidade nos pontos de meia água no estuário, refletindo estratificação da coluna d'água, porem com pouca variação do pH. Salinidade da Superfície na BS 2,65 e na FZ 0,84. Já em meia água, 6,65 na BS e 13,7 na FZ, indicando que a cunha salina ainda está atuando, embora o pH seja semelhante BS 6,65/6,80 e FZ 6,15/6,86. Nos pontos do estuário, o vento NE atuante, passou a impressão de maré enchente. No mar, rincão e morro semelhantes, com salinidade 33/36 e pH 8,11.
23 ^a	12/12/2018	Tempo Bom. 1 ^a onda de calor do verão. Temperaturas chegando a 38° na região, última chuva considerável a 12 dias.	Rizicultores há aproximadamente 7 dias não colocam mais água nas canchas. Maiores níveis de salinidade em superfície até o momento foram verificados nesta campanha. Níveis altos de salinidade em superfície (7 e 9,98ppm) no IT e ML. Mesmo com esta salinidade, pH do ML permaneceu baixo 4,73. Na FZ pH 6,7 e salinidade 9. Em profundidade, FZ com salinidade acima de 30ppm e pH 7,4. No Ponto Balsa, salinidades menores que ponto fazenda em profundidade, mas muito provavelmente ao ponto de coleta ser mais próximo a margem, e influenciar nisso. Água mais misturada vista na balsa, aparentemente sem estratificação entre superfície e meia água, com pH 7,8 a 8,0 e salinidade 18ppm. No mar, vento indefinido, e salinidade e pH normais.
24 ^a	19/12/2018	Garoa. Frente fria passou pela região no dia anterior, após 5 dias com temperaturas em torno de 36°C, com chuvas de verão nos fins de tarde	No IT, cor verde escura, sem corrente. Água amarelada e pH 6,72. Salinidade 0,96 em superfície. No ML, corrente maior, rio com cor verde esmeralda, água clara e pH 5,24. Salinidade 0,63. Bombas da rizicultura ligadas. Agricultor comentou que no último sábado, em seu condutímetro ML chegou a 8ppm, e Manoel Alves a 6ppm. Como choveu no costão, a salinidade foi diminuindo aos poucos, e começaram a bombear. Na FZ, praticamente sem estratificação entre meio e superfície. pH 5,5 e sal 3 a 4 ppm. Água verde esmeralda. Já na BS, pH superfície 5,5 contra 7,2 em meio d'água. Salinidade demonstrou estratificação neste ponto, com sal em superfície 7,32 ppm e meio 30,3. Chamou atenção, que mesmo com sal 7,2 em superfície, pH ainda menor que 6,0. No mar, morro dos conventos normal pH 8,09 e sal 35,8 e na Barra pH 7,84 e sal 29,7, indicando uma maior diluição da água salina neste sentido. pH sensivelmente mais baixo que o normal, demonstrando que as pancadas de chuva de fim de tarde (alta precipitação em pouco tempo), não deixam a água no estuário tempo suficiente para que os pH mais ácidos sejam equalizados na zona de mistura. Tempo de retenção, necessita ser maior. Na balsa, óleo na água provavelmente dos "barquinhos" de pesca a motor. Avistados peixes pulando na água.
25 ^a	26/12/2018	Tempo Bom. Vento NE na região, com últimos dias sendo de calor. Precipitações	Sem diferenças consideráveis entre Morro e Rincão, com água turva de cor marrom, devido ao vento NE. No estuário, pontos BS e FZ, sem cunha salina presente, salinidades menores que 2, sem diferença entre as profundidades. O PH, em torno de

		no costão praticamente todo final de tarde.	6,0 na cidade de Araranguá, e 6,5 na BS. No ponto FZ, alguns flocos laranja em suspensão, o que se repetiu no ponto ML. Quanto a salinidade no ML e IT, praticamente zero. pH do IT 7,32 e ML 4,76.
26 ^a	03/01/2019	Tempo Bom, abafado. Pré-Frontal passando sobre região, chuva prevista para período da tarde após 8 dias de estiagem	No IT cor verde escura, pH 7,0 e salinidade 0,5. Praticamente sem corrente, nível do rio baixo. No ML, cor verde esmeralda, com pH 3,62 e salinidade 0,8. Temperaturas da água altas (ML 30 e IT 29,3) devido forte onda de calor na última semana. No ponto FZ em superfície, pH 4,16 e salinidade 1. Em meia água, na Fazenda, verifica-se estratificação, com cunha salina presente. pH 6,74 e salinidade 15,9. Verificou-se corrente enchendo. Na BS nível bem abaixo do normal. Também verificou-se estratificação, com salinidade superfície 2,49 e meio d'água 17,8. pH sup 6,70 e meio 7,72. Pescador comentou que deu muito peixe no dia de ontem, mas hoje fraco. No mar, cor marrom, pH 8,6 e salinidade 35,9 no rincão e cor areia, pH 8,21 e salinidade 36,3 no morro.
27 ^a	08/01/2019	Nublado, com chuva de verão em toda região no fim de tarde anterior. Frente fria passou pela região a 5 dias. Praticamente sem vento.	No IT, pH 7,29 e sal 0,35. No ML pH 5,12 e sal 0,15. Água muito clara no ML, deixando tonalidade verde esmeralda. Na FZ, não se verificou estratificação, e os valores foram semelhantes ao ponto BR, com pH 6,5 e salinidade 1,2. Na BS, verificou-se cunha salina. pH em superfície 6,86/sal 4,5 e em meia água pH 7,29 sal 20. No mar, condições normais, mar calmo e água pouco turva.
28 ^a	17/01/2019	Nublado/Sol. Últimos 3 dias com chuvas de verão no fim de tarde causando alagamentos em Criciúma.	No ML, pH 5,06 e salinidade 0,07, com forte corrente e muitos flocos laranja em suspensão. No IT, cor marrom, pH 7,21 e sal 0,06. Na BR e FZ, resultados semelhantes. pH 5,3 e sal 0,08. Na BS, pH 6,6 e sal 0,5. Cor marrom, mediante sedimentos carregados pela chuva. Resultados indicam que não há cunha salina no estuário, pelo menos no trecho e profundidades avaliadas. No mar, calmo água clara e mar baixo. pH semelhante nos 2 pontos 8,2, sendo que salinidade menor no rincão, indicando sentido preferencial da drenagem.
29 ^a	23/01/2019	Sol. Semana de sol, com chuvas de verão dispersas pela bacia. Na semana anterior, houveram os maiores índices de chuva do verão, com alagamentos em Criciúma/Siderópolis e Nova Veneza.	Em todos os pontos, exceto os no mar e IT foram verificados flocos de ferro em suspensão. Não foi verificada Salinidade considerável em nenhum ponto do estuário, nem a presença de estratificação e cunha salina nos pontos onde são verificadas 2 profundidades. Rio com corrente forte, nível alto e aparentemente grande vazão. A balsa ficou fechada por 3 dias na última semana, devido ao nível do rio, que não permitiu uma navegação segura. pH 4,9 no ML, 7,4 no IT, passando para 5,9 na BR, 6,1 na FZ e 5,9 na BS. No mar, pH e salinidade normais: 4/8,3 e sal 35/36.
30 ^a	29/01/2019	Tempo Bom. Chuvas de verão no fim de tarde do dia anterior em alguns locais da Bacia	Sem presença de cunha salina e estratificação entre profundidades avaliadas no estuário. Salinidades todas menores que 0,5. Mar com pH e salinidade normais 8,3/34-35. No IT pH 7,1 e ML 4,8, FZ 6,1 e BS 6,4. Verificados ainda flocos em suspensão no ML (grande quantidade), na BR e FZ em média quantidade e na BS, em pouca quantidade mais ainda identificáveis.
31 ^a	05/02/2019	Chuva/Garoa. 3 dias antes da coleta, forte índice pluviométrico na região (~60mm em 24h), com passagem de frente fria após 15 dias de calor intenso.	Não foi verificada salinidade maior que 0,15 no interior do estuário. pH ML 5,28, e IT 7,18. Foi verificada forte corrente em todos os pontos do estuário, que culminou em flocos laranja em suspensão em todos os pontos, exceto no IT. Chamou atenção na Barra Velha, salinidade 8,41 com pH 7,9, indicando "pluma" de águas interiores naquela direção. Na areia, verificou-se flocos laranja nas espumas secas, e flocos laranja dispersos pela praia, juntamente com galhos, restos de vegetação etc.. Água do mar de cor marrom/areia. No morro dos conventos condições normais, apesar de salinidade levemente menor que semana anterior (31 x 36 das últimas semanas). Vento no momento da coleta de intensidade 12km/h e direção Oeste. No entanto, no dia anterior, houve por 6 horas vento de direção SO moderado.
32 ^a	12/02/2019	Nublado. Frente fria entrando no estado pela manhã, coincidindo com a realização das coletas. Na noite anterior, chuvas de verão mal distribuídas pela bacia.	No Mar, vento sul forte, com pH normais e semelhantes no rincão e morro (8,3). Salinidade demonstra água doce fluindo em direção ao rincão, 35ppm morro x 25ppm rincão. Na BS e FZ, água muito clara, sem flocos, com boa visibilidade >3m. Sem diferença entre profundidades, porém, apenas na BS teores de sal próximos a 1ppm. Os demais, todos menores que 0,2. pH 5,3 na BS e 4,9 na FZ. Na BS, fatura de tainhas, com pescadores pegando vários quilos, nos últimos 2 dias. Na BR, visível estratificação lateral entre a mistura das águas do Itoupava e Mãe Luzia. Lado do ML com muitos flocos,

			enquanto lado do Itoupava não. No IT, pH 7,43 e sal 0,09, enquanto no ML pH 4,1 e sal 0,13. Colheita do arroz iniciou nas margens do Itoupava/Mãe Luzia.
33 ^a	20/02/2019	Tempo bom. Dia anterior a coleta com fortes chuvas de verão, ocorrendo alagamentos nas cidades de Criciúma, Nova Veneza, Turvo, etc. Granizo.	Morador do Sangão da Madalena comentou que empresas que lavam moinha/carvão estão jogando água de mina quando chove, pra diluir a sujeira no rio. OBS: Vazão dos rios Itoupava e Mãe Luzia com expressivo aumento "sem pluviometria", em virtude do secamento das canchas de arroz para colheita.
34 ^a	27/02/2019	Nublado. 2 dias de chuva fraca, devido passagem de frente fria pela região ontem e hoje. Antes disso, praticamente 5 dias de sol forte e tempo bom, com algumas precipitações de verão mal distribuídas.	Na balsa, ph 5,9-6,0 com pequena diferença entre as profundidades na salinidade 1,4 x 1,7 porem não significativa, nas profundidades avaliadas. Pouco peixe hoje, segundo pescadores locais. Nível alto, e água cristalina na Fazenda e Balsa, sem flocos visíveis, e visibilidade muito boa no estuário.
35 ^a	06/03/2019	Sol, tempo bom. Na noite anterior em algumas áreas do costão fortes pancadas de chuva de verão, principalmente no Sudoeste da bacia (Lado Itoupava). Dias anteriores a coleta (carnaval), sem chuvas (aprox., 5 dias) e lua nova.	No IT chama atenção água barrenta, marrom clara e alta vazão principalmente do rio Jundiá. Água barrenta se faz perceber até estação FZ, apesar de , no IT ser turva, com muito sedimento em suspensão, e na FZ já ser amarelada.
36 ^a	14/03/2019	Nublado, chuva na madrugada em alguns pontos da bacia. Há 5 dias, forte pluviosidade com 3 dias contínuos de chuva.	Flocos em suspensão no ML, e também na lateral esquerda do rio Araranguá no ponto BR 101. Na FZ já não se percebia mais os flocos.
37 ^a	21/03/2019	Nublado pela manhã, com garoa na noite anterior e sol após as 12:00hs. Frente fria passando pela região, com ressaca no mar e vento sul forte a partir das 10:00hs.	No ponto ML muitos flocos em suspensão. Na BR mais uma vez se percebeu que o flocos se encontravam na margem esquerda na direita não, evidenciando que até aquele ponto as águas superficiais dos rios IT e ML não estavam completamente misturadas. Na Fazenda, nível do rio alto, sobre o deck. Na balsa, água límpida, com visibilidade maior que 3m com certa salinidade 2%. Cor verde esmeralda forte chamou atenção. Sem diferença entre superfície e meio, e nível do rio muito alto, acima do "cais de madeira".
38 ^a	28/03/2019	Garoa pela manhã, com chuva a noite. Embora bem distribuída durante a semana, pequenas pancadas de chuva de pouca monta, diminuem a vazão dos rios.	Cunha salina verificada apenas no ponto BS, com clara diferença entre as profundidades.
39 ^a	04/04/2019	Tempo Bom. Semana seca, porem com "pancada de verão" a noite no dia anterior.	Na balsa, exelente visibilidade e fartura na pesca. Muitos peixes saindo. Aqui na BS, cunha salina bem formada, além de indicar boa salinidade também na camada superior.
40 ^a	11/04/2019	Tempo bom, umidade do ar baixa, com noites frias e tardes quentes. Última chuvas registradas há 4 dias atrás.	Na balsa, águas marrons ainda devido sedimentos carregados para o rio, corrente fraca a enchente.
41 ^a	18/04/2019	Tempo bom. Vento Sul/SO, e também no dia anterior. Chuva nas últimas 72hs.	Na balsa, leve salinidade, bem misturado sem diferença entre as profundidades. pH 6,8 e sal 2ppm. Pesca farta no píer.
42 ^a	25/04/2019	Dia anterior tempo bom. Hoje garoa fraca	Mar médio, com maré baixa. Na balsa, leve salinidade, bem misturado sem diferença entre as profundidades.

		mal distribuída e períodos dispersos.	
43 ^a	02/05/2019	Tempo Bom. Pela manhã, neblina forte em toda região. Temperatura mais baixa que na semana anterior.	Salinidade levemente maior na mais profunda 2,72 x 3,58 apesar de, representar um cenário parcialmente misturado.
44 ^a	10/05/2019	Tempo Bom. Abafado, com previsão de entrada de frente fria no fim do dia.	Na Balsa, nível muito baixo do rio, assim como nos demais pontos. (Banhados secos). Sem corrente no momento da coleta, com pH 6.9 em ambas profundidades, como na semana anterior.
45 ^a	16/05/2019	Tempo bom, após 3 dias de altos índices pluviométricos na região. Passagem de frente fria, com declínio considerável da temperatura.	Rio Marrom em todos os pontos, devido carreamento de sedimentos com as chuvas. Água amarelada, barrenta com restos de vegetação. Corrente forte de vazante. Flocos laranja verificados em todos os pontos, inclusive na balsa (em menor quantidade) mas existentes, e pH 6,7. No rincão, pH 7,98 e sal 10,42, água mais “barrenta”, com ocorrência visível de flocos laranja, na areia da praia, e também nas “espumas” das ondas. Foi coletado areia da praia com espumas laranja.
46 ^a	23/05/2019	Garoa, tempo abafado com previsão de entrada de frente fria.	No BR, era possível verificar que flocos só ocorriam na margem esquerda.
47 ^a	30/05/2019	Chuva. Alagamentos em todas cidades do sul. É o maio mais chuvoso dos últimos 10 anos, passando dos 350mm mensais. No mar, menor condutividade no rincão e morro, devido alta vazão do rio na última semana.	Flocos laranja identificados em todas estações, exceto no IT. Inclusive na barra velha, “ferrugem” da praia, como em semanas anteriores onde houve muita chuva.
48 ^a	04/06/2019	Sol. Primeiro dia de tempo bom, após mais de 10 dias chuvosos.	Alagamentos em todas cidades do sul. No mar, vento sul e menor condutividade no rincão em relação ao morro, devido alta vazão do rio na última semana, no sentido do rincão. Muita sujeira na praia, galhos, arvores, etc., devido chuvas. Sinais de “mancha laranja” na areia. Chamou atenção quantidade de flocos no ML, FZ e BR, possivelmente maior de todas as campanhas. Flocos praticamente preenchiam toda calha do rio na BR e FZ, deixando-o por vezes de aspecto/cor laranja.
49 ^a	11/06/2019	Sol. Semana seca, após maiores índices pluviométricos registrados para o mês de maio nos últimos anos.	Menores pH nos últimas semanas, possivelmente após “calmaria” das grandes chuvas de maio. Balsa pH 5,8, FZ 5,1 e BR 5,1. IT com pH 7,23 e ML 4,5. Chamou atenção quantidade de flocos na balsa, possivelmente ainda resultado do arraste das últimas semanas de chuva.
50 ^a	18/06/2019	Sol, parcialmente nublado. 14 dias sem chuvas, após mês chuvoso de maio. Calor atípico para época do ano.	Em nenhum dos pontos foram verificados flocos em suspensão, conforme campanhas anteriores. . Sem estratificação nos pontos do estuário, embora com alguma salinidade, principalmente no ponto balsa, que chegou a 3,3%. Tainhas sendo pescadas na balsa.
51 ^a	25/06/2019	Sol. Tempo bom, pré-frontal passando sobre região, com abafamento. Chuvas previstas para noite, após aproximadamente 20 dias sem chuvas de grande monta.	No estuário, cunha salina presente e identificável nos pontos Balsa e Fazenda, com grande diferença entre salinidade na superfície e meio, bem como também valores de pH. Populares comentaram pouco peixe na balsa, e bastante tainha no rio dos anjos e rio acima. Flocos verificados apenas nos pontos BR e FAZENDA. Água na balsa muito clara, límpida.
52 ^a	03/07/2019	Nublado, primeiras horas após passagem de 3 dias de chuva intensa depois de 20 dias sem precipitações. Frio. Vento miniano SO a Sul.	ML e IT com corrente vazante forte, nível alto devido as chuvas. ML praticamente preenchido por flocos em toda sua calha, apresentando cor laranja. Na balsa, sem diferença de profundidade, apresentando-se bem misturado, porem com certa salinidade ainda resultante do período de estiagem sal 2,3 % e pH. 6,5.

Legenda: BS: Ponto 3 – Balsa; FZ: Ponto 4 – Fazenda; BR: Ponto 5 – BR 101; IT: Ponto 6 – Rio Itoupava; ML: Ponto 7 – Rio Mãe Luzia.