

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

VICENTE NAVA LENHANI

**INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA E A RESTAURAÇÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO DO RIO MÃE LUZIA EM TREVISO,
SANTA CATARINA.**

CRICIÚMA

2021

VICENTE NAVA LENHANI

**INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA E A RESTAURAÇÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO DO RIO MÃE LUZIA EM TREVISÓ,
SANTA CATARINA.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciências Biológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Doutor Carlyle Torres Bezerra de Menezes

CRICIÚMA

2021

VICENTE NAVA LENHANI

**INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA E A RESTAURAÇÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO DO RIO MÃE LUZIA EM TREVISO,
SANTA CATARINA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no curso de Ciências Biológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos.

Criciúma, 26 de Novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes - Orientador (UNESC)

Prof^a. Dra. Miriam da Conceição Martins - Bióloga (UNESC)

Prof^a Dra. Cinara Ludvig Gonçalves - Bióloga (UNESC)

Dedico esse trabalho para meu avô Leonício João Lenhani e para minha avó Iracema Luiza Piacentini Lenhani, aonde quer que estiverem, espero que estejam orgulhosos de mim.
E para todos que, por pelo menos um dia se importaram verdadeiramente com o Rio Mãe Luzia.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Simone, por ser a personificação de bondade, esperança e força. A melhor pessoa que eu que eu tenho o prazer de conhecer.

A meu pai Denílson, por sempre providenciar o necessário e nunca medir esforços para minha formação.

À minha irmã Alice, por compactuar com as loucuras.

Á minha namorada Júlia, por tornar a vida melhor de ser vivida, por me aguentar, por ser o sol da minha vida.

Ao irmão que o curso me deu, Vitor Bastos, pelos infinitos momentos de descontração.

A meu amigo Thiago Abreu, por ser meu primeiro mentor profissional.

A meus avós e padrinhos, por sempre fornecerem carinho e conforto.

Aos meus dois amigos Vinicius e Jackison, pelo trabalho, pelas oportunidades e pela ajuda com esse estudo.

A toda minha família e amigos que de algum modo fizeram eu ser quem sou hoje.

Ao meu orientador Carlyle.

A todos os professores do curso, especialmente Guilherme Alves e Fernando Carvalho por serem minhas inspirações e referências profissionais.

A todos que a memória injustiça.

Eu faço imensos sacrifícios para conhecer todos os fenômenos da primavera, por exemplo, pensando que eu tenho aqui o poema inteiro, e então, para meu desapontamento, eu ouço que é apenas uma cópia imperfeita a que possuo e li, que meus ancestrais rasgaram muitas das primeiras folhas e passagens mais grandiosas, e mutilaram-na em muitos lugares. Eu não gostaria de pensar que algum semideus tivesse vindo antes de mim e escolhido para si algumas das melhores estrelas.
Henry Thoreau, 1846.

RESUMO

O passivo ambiental deixado na região Sul de Santa Catarina pela exploração de carvão nas últimas décadas é um tema conhecido na comunidade acadêmica. A bacia hidrográfica do rio Araranguá é considerada por alguns autores como a mais impactada de todo estado. Na década de 90 foi instaurada uma Ação Civil Pública que condenou carboníferas e outra entidades para recuperarem áreas degradadas por mineração, algumas áreas delimitadas pela ACP estão inseridas em Treviso, o impacto das duas maiores foi avaliado neste estudo. O estudo teve como objetivo analisar indicadores de qualidade ambiental da água do rio Mãe Luzia dentro dos limites municipais de Treviso, Santa Catarina, com vistas a recuperação de seus recursos hídricos regionais. Os equipamentos utilizados para a tomada de dados eram do Projeto DATA, projeto elaborado pela Fundação de Meio Ambiente de Treviso vinculado ao Ministério Público Federal com plano de ação dedicado ao monitoramento do Rio Mãe Luzia. Oito pontos de coleta de água foram definidos pelo curso do rio, as coletas foram realizadas quinzenalmente a partir do dia 15 de julho de 2020 até o dia 30 de outubro de 2020, totalizando oito amostragens. Para as coletas dos dados foi utilizada uma sonda multiparâmetros, modelo AP-800, marca *Aquaread*, que permitiu a medição de sete descritores: Temperatura; pH; Potencial de Oxi-Redução; Oxigênio Dissolvido; Condutividade Elétrica; Sólidos Totais Dissolvidos e Turbidez. O pH médio dos pontos diminui gradualmente conforme os pontos vão se afastando da nascente, apresentando a maior média no Ponto 02 (7,07) e menor no Ponto 08 (6,17), o Oxigênio Dissolvido apresentou pouca alteração com média mínima no Ponto 01 (8,28) e máxima no Ponto 08 (8,9), esses dois parâmetros estão de acordo com o estabelecido para águas doces de Classe 1 na Resolução CONAMA 357/05. As medidas de Sólidos Totais Dissolvidos apresentaram grandes variações em dias chuvosos, principalmente nos pontos distribuídos perto das mineradoras, chegando a um pico de 1101 mg/L no dia 30 de setembro. Esses valores podem ser explicados pela falta de pavimentação nas estradas e pátios da mineradora, que por serem vias de terra sem drenagem, acabam por acumular material advindo dos pneus ou da própria carga dos caminhões que trafegam levando o carvão, esse material acaba sendo carregado para o rio por lixiviação quando chove. Durante os 4 meses de amostragem constatou-se que a área de recuperação Rio Pio cessou o impacto no Rio Mãe Luzia após a conclusão das obras, enquanto a área de recuperação Campo Morozini pode estar impactando de forma negativa o rio. De todo modo o monitoramento do rio deve continuar para geração de maior banco de dados, fiscalização e delimitação de fatores poluidores. Por fim, os resultados obtidos mostram que o monitoramento com a sonda é uma ferramenta muito importante para fiscalização dos cursos de água por parte do poder público pelo fato do baixo investimento financeiro e facilidade de manuseio. Pesquisas referentes ao ciclo hídrico da região carbonífera se demonstram essenciais, visto a importância que a água exerce na vida humana e em todos ecossistemas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Mineração de Carvão. Passivo Ambiental. Degradação Ambiental.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais impactos causados nos ecossistemas pela mineração e pelo seu processamento.....	19
Figura 2: Vista aérea da área de recuperação Campo Morozini e as lagoas nele contidas.....	22
Figura 3: Vista aérea da área de recuperação Rio Pio.....	23
Figura 4: Localização de Treviso no estado de Santa Catarina.	27
Figura 5: Tipos climáticos de Santa Catarina.....	28
Figura 6: Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho.....	29
Figura 7: Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho, traçado do primeiro grande afluente em amarelo, demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho...31	31
Figura 8: Localização dos pontos de coleta 03 e 04 em relação aos pontos de interesse. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho. O marcador “A” representa a primeira mineradora. O marcador “B” representa o primeiro depósito de rejeito.....	32
Figura 9: Vista aérea da primeira mineradora (direita) e do primeiro depósito de rejeito (esquerda), com o Rio Mãe Luzia passando no meio destes.	32
Figura 10: Localização do ponto de coleta 05. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho. O marcador “C” representa o segundo depósito de rejeito. O marcador “D” representa a segunda mineradora.	33
Figura 11: Vista aérea da segunda mineradora (a frente) e do segundo depósito de rejeito (ao fundo).	33
Figura 12: Localização do ponto de coleta 06. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho, traçado do Rio Ferreira em amarelo, demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho.....	34
Figura 13: Localização do ponto de coleta 07 entre as áreas de recuperação do Rio Pio (ao norte) e do Rio Morozini (ao sul), entre as áreas destaca-se o afluente Rio Pio, em amarelo. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho.	34
Figura 14: Localização do ponto 08 em relação ao limite municipal ao sul. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho.....	35
Figura 15: Lançamento de esgoto doméstico no Rio Mãe Luzia no centro da cidade.	46
Figura 16: Detalhe do lançamento de esgoto doméstico no Rio Mãe Luzia no centro da cidade.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Atividades geradoras de empregos no ano de 2016.	17
Quadro 2: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 01 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.	36
Quadro 3: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 02 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.	37
Quadro 4: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 03 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.	38
Quadro 5: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 04 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.	39
Quadro 6: Data e Hora das campanhas e valor observado de Sólidos Dissolvidos Totais.....	39
Quadro 7: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 05 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.	41

<p>Quadro 8: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 06 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.</p>	42
<p>Quadro 9: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 07 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.</p>	43
<p>Quadro 10: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 08 durante as oito campanhas. Onde: Min = Valor mínimo observado; Max = Valor máximo observado; Média = Média dos oito valores; Desv P. = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; Temp (C) = Temperatura em graus Celsius; ORP REDOX (mV) = Potencial Redox em milivolts; DO (mg/L) = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; EC (uS/cm) = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; TDS (mg/L) = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; Turbidez (NTU) = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.</p>	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 HISTÓRICO DO CARVÃO CATARINENSE.....	15
3.2 ONTEM E HOJE EM TREVISÓ	16
3.3 IMPACTOS DA MINERAÇÃO	17
3.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	19
3.5 ACP DO CARVÃO	20
3.5.1 Campo Morozini	22
3.5.2 Rio Pio	23
3.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	23
3.6.1 pH	24
3.6.2 Potencial oxirredução (REDOX)	24
3.6.3 Oxigênio Dissolvido	24
3.6.4 Condutividade Elétrica	25
3.6.5 Sólidos Totais Dissolvidos - TDS	25
3.6.6 Turbidez	25
3.7 SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 PONTO 01.....	36
5.2 PONTO 02.....	37
5.3 PONTO 03.....	38
5.4 PONTO 04.....	39
5.5 PONTO 05.....	41
5.6 PONTO 06.....	42
5.7 PONTO 07.....	43
5.8 PONTO 08.....	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	49

1 INTRODUÇÃO

Há poucas décadas atrás a conservação da água não era tratada como prioridade pelo ser humano e em políticas públicas, uma vez que se considerava este recurso infinito. Apesar de comumente ser chamado “Planeta Terra”, a superfície do nosso planeta está majoritariamente coberta por água, sendo que somente 2,5% desta é doce e apenas 0,06% corresponde à água de rios e lagos (PIRATOBA *et al.*, 2017).

A utilização da água é necessária à sobrevivência humana. Entretanto, paralelamente ao aumento populacional mundial, o aproveitamento desse insumo foi intensificado para abastecer plantações, gerar energia, em indústrias, pecuárias, saneamento básico, abastecimento público, dentre outros usos. Dessa forma, os níveis de poluição em corpos d’água foram significativamente elevados devido ao despejo irregular de resíduos sólidos e efluentes poluidores em seus cursos (PIRATOBA *et al.*, 2017).

A qualidade da água está diretamente ligada à ocupação de solo, antropização e acontecimentos naturais de sua bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2005). O ciclo hidrológico, que provoca alterações no estado da água, faz com que esse substrato dissolva diversos compostos, elementos e substâncias necessários à vida no planeta, através do contato com diversos ambientes (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Portanto, as características naturais da água são determinadas pelas substâncias químicas nela dissolvidas e estão diretamente ligadas ao solo e rochas de sua bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2005). Zhang *et al.* (2010) ressalta que em um curso hídrico a água pode exibir características e compostos diferentes dissolvidos em suas nascentes, no meio e no baixo curso do rio.

No Brasil existe legislação específica para determinação da qualidade d’água, sendo que o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 357 de 2005, alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011 e complementada pela Resolução nº 393, de 2007, dispõe sobre a classificação dos corpos de água nacionais. Nesse sentido, as condições e padrões indicados na legislação referente aos limites e níveis aceitáveis de substâncias na água fazem referência ao tipo de uso ao qual ela se destina.

No século passado, a região carbonífera do extremo sul catarinense teve seu desenvolvimento socioeconômico alicerçado na intensa atividade de extração de carvão. Grandes mineradoras se instalaram na região e o processo era realizado tanto através de minas de subsolo como lavra a céu aberto. Com o cessar das atividades em determinados locais, as mineradoras se locomoviam para extração em outra área, deixando para trás um passivo ambiental que em algumas cidades se faz presente até hoje (LADWIG; DAGOSTIM; BACK, 2018).

A partir da evidenciação desse passivo ambiental, em 1993 o Ministério Público Federal iniciou uma Ação Civil Pública, que posteriormente ficou conhecida como ACP do Carvão, responsabilizando o estado de Santa Catarina, a União Federal e empresas mineradoras pelos danos ambientais causados na região (LADWIG; DAGOSTIM; BACK, 2018). O principal objetivo da ACP é a recuperação ambiental nas áreas degradadas pelo processo de extração de carvão, como bocas de mina abandonadas, áreas com depósito de rejeito e áreas mineradas a céu aberto. (SOUZA *et al.*, 2011).

A qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Araranguá, a qual drena grande parte da região carbonífera, gera interesse no âmbito acadêmico, sendo possível encontrar trabalhos que analisam toda água da bacia (ALEXANDRE, 2000), bem como seus recursos subterrâneos (KREBS, 2004). Mais especificamente, na sub-bacia rio Mãe Luzia, a problemática ambiental deixada pela extração de carvão também é abordada em estudos, através de avaliações de risco (GONÇALVES, 2012) e análises através de insetos bentônicos (RODRIGUES; TEIXEIRA; CAMPOS, 2007). Entretanto, ainda há escassez no que tange a estudos focados nas propriedades físico-químicas das águas do rio Mãe Luzia, de forma que métodos semelhantes ao utilizado no presente estudo já foram empregados em trabalhos pelo estado, porém em outra bacia hidrográfica (ARAUJO *et al.*, 2012).

Pesquisas referentes ao ciclo hídrico da região carbonífera se demonstram essenciais, visto a importância que a água exerce na vida humana e em todos ecossistemas. Por tratar-se de uma região com histórico de degradação ambiental, os resultados obtidos, além de originarem conhecimento à comunidade científica, podem auxiliar futuramente no apoio à gestão da qualidade da água em locais de interesse, bem como apontar novos pontos de captação de água para abastecimento público.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar indicadores de qualidade ambiental da água do rio Mãe Luzia dentro dos limites municipais de Treviso, Santa Catarina, com vistas a recuperação de seus recursos hídricos regionais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analisar a qualidade da água do rio Mãe Luzia ao longo do município de Treviso, na Região Sul de Santa Catarina.
2. Avaliar a eficiência na execução dos Plano de Recuperação de Área Degradadas – PRAD, nas áreas inseridas na ACP do Carvão, a partir dos parâmetros físico-químicos na qualidade de água no rio Mãe Luzia.
3. Contribuir para o aperfeiçoamento dos indicadores ambientais de recuperação de área degradada aplicados aos recursos hídricos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 HISTÓRICO DO CARVÃO CATARINENSE

A exploração de carvão em Santa Catarina remonta ao século XIX, quando a primeira carbonífera foi constituída. A firma inglesa Companhia de Mineração de Carvão Tubarão foi criada em 1886, mas fechou no ano seguinte (RAVAZZOLI, 2013). Uma década depois, em seu período inicial, o carvão extraído era totalmente destinado para fins energéticos. Durante as grandes guerras, o carvão catarinense ganhou grande destaque, o que consolidou a indústria carbonífera, visto a impossibilidade de importação de carvão europeu (REBOUÇAS et al., 1997).

Desde o início da extração desse mineral, já era sabido a pobreza do carvão catarinense. O geólogo americano Israel Charles White, em 1905, descreve o mesmo como pobre, com muita umidade. Nesse período apenas 25% do carvão era aproveitado e os 75% restantes era rejeito (RAVAZZOLI, 2013).

Com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, em 1946, Ravazzoli (2013) se inicia um novo período, com a consolidação do complexo carbonífero, que nesse momento, já era formado pelas minas, ferrovia, lavador, termelétrica e porto.

A terceira fase do carvão tem início com a inauguração da usina termelétrica Jorge Lacerda, em 1965, construída para suprir a falta de energia elétrica e para melhor aproveitamento do carvão nacional, entretanto, ainda eram desperdiçados 75% equivalentes ao rejeito. Uma década depois, segundo Goulart e Moraes (2009) o complexo estava quase completo, com o início da operação da Indústria Carboquímica Catarinense – ICC, em 1979, estudos são desenvolvidos para aproveitamento do enxofre presente na piritita.

O auge do complexo, 1979-1990, era composto em sua maioria por empresas estatais, e o destino do carvão também o era. O carvão metalúrgico era direcionado para a Siderbrás, o carvão vapor para a Eletrobrás e o rejeito (pirita = 8% do volume total) para a ICC (subsidiária da Petrobrás) (RAVAZZOLI, 2013).

A indústria carbonífera empregava 10% de toda a mão de obra disponível na região Sul de Santa Catarina, tendo mais de 20 mil pessoas dependentes do setor. No entanto, as condições de trabalho eram terríveis e os empregados inalavam grande quantidade de pó de carvão, que era liberado no processo de extração, sem

equipamentos de segurança. Vários casos de pneumoconiose, doença pulmonar causada por inalação de poeira, foram registrados nos mineiros (RAVAZZOLI, 2013).

Com a chegada de Fernando Collor de Mello à presidência do Brasil, iniciou-se um período de derrocada do setor, uma vez que a política neoliberal implantada pelo presidente desmantelou a parte estatal do complexo. Nessa época, a CSN fechou todas suas minas e o lavador, a Petrobrás desativou o ICC e a termelétrica e a ferrovia foram privatizadas. O faturamento do setor despencou 60% e milhares de trabalhadores foram demitidos, de modo que se estima que em poucos anos passou-se de mais 30 mil pessoas empregadas para menos de cinco mil (GOULART E MORAES, 2009). Entretanto, a construção da Usina Jorge Lacerda IV, em 1997, garantiu a continuidade do consumo de carvão catarinense e resguardou o setor.

3.2 ONTEM E HOJE EM TREVISO

O município de Treviso tem todo seu território drenado pelo Rio Mãe Luzia, o que insere a cidade totalmente na Bacia Carbonífera Catarinense. Seu desenvolvimento foi impulsionado pela exploração econômica de carvão na região no início do século XIX e pela implantação do parque siderúrgico nacional na década de 40 (LOPES et al., 2009), formando uma vila operária nos entornos das indústrias que viria a se emancipar no ano de 1995.

A mineração até hoje segue como principal atividade empregatícia do município, sendo que dados de 2016 demonstram que 62% dos empregos gerados em Treviso naquele ano foram na atividade de extração de carvão mineral (Quadro 1).

Quadro 1: Atividades geradoras de empregos no ano de 2016.

<i>Atividade</i>	<i>Nº de empregos</i>	
<i>Extração de carvão mineral</i>	1.345	62,0%
<i>Administração pública em geral</i>	377	17,4%
<i>Fabricação de esquadrias de madeira e de peças de madeira para instalações industriais e comerciais</i>	44	2,0%
<i>Distribuição de energia elétrica</i>	44	2,0%
<i>Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, intermunicipal, interestadual e internacional</i>	42	1,9%
<i>Facção de peças do vestuário, exceto roupas íntimas</i>	37	1,7%
<i>Fabricação de outros artefatos e produtos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes</i>	33	1,5%
<i>Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, municipal</i>	31	1,4%
<i>Fabricação de artigos de vidro</i>	28	1,3%
<i>Fabricação de produtos de panificação industrial</i>	23	1,1%
<i>Demais atividades</i>	166	7,6%

Fonte: SEBRAE/SC (2019).

De maneira geral, pode-se dizer que em Treviso a extrema maioria da população é empregada no setor minerário ou na prefeitura municipal.

3.3 IMPACTOS DA MINERAÇÃO

Rigotti (2002) aponta que a mineração, principalmente a céu aberto, gera impactos ambientais que degradam o ecossistema em seus meios aéreos, terrestres e aquáticos. Impactos que podem ser temporários ou até mesmo permanentes (Figura 1).

A primeira etapa da mineração a céu aberto é a retirada completa do solo vegetal, o que culmina na ausência completa da flora e fauna no local. Conseqüentemente, sem cobertura vegetal, o solo perde matéria orgânica e se transforma em um substrato pobre, sem vida microbiológica. (RIGOTTI, 2002).

Outro efeito negativo da mineração no meio físico é a inversão dos horizontes do solo (LOPES et al, 2009). O modo como o maquinário opera na lavra a céu aberto retira a camada que repousava sobre o carvão e empilha sobre os montes de estéreis (LOPES et al, 2009). Dessa forma, a base desses montes é formada pelas rochas que afloravam naquele local antes da mineração, modificando as posições estratigráficas originais (LOPES et al, 2009).

As mudanças no relevo da paisagem podem impactar o regime fluvial, as margens e os leitos dos rios. As drenagens ácidas de mina e a lixiviação dos montes de estéreis e rejeito são responsáveis pelo comprometimento da qualidade do solo com efeitos deletérios sobre seu uso (RIGOTTI, 2002).

Apesar da acidez da água ser um fenômeno natural, os impactos causados pela mineração podem funcionar como catalisador desse processo, pois quando os minerais sulfetados, como a pirita, ficam expostos ao oxigênio da atmosfera suas propriedades químicas mudam, o que acaba por liberar ferro e enxofre no meio ambiente. Esse fenômeno acontece em ambientes como cavas a céu aberto, pilhas de rejeito ou estéreis, estradas com tráfego de veículos da mina, bacias de decantação e galerias subterrâneas (LOPES et al, 2009).

Lopes et al. (2009) pontua que a Drenagem Ácida de Mina é o problema ambiental mais preocupante da região devido à sua agressividade e intensidade de degradação da água e dos solos.

As águas ácidas provenientes de mineração e beneficiamento do carvão podem ser consideradas como uma solução de vários sais, na maioria sulfatos. Estudos indicam a presença de vários elementos como ferro e alumínio, bem como metais pesados. O grau de toxicidade destes elementos é aumentado devido à ação sinérgica entre eles, como por exemplo, o zinco e o cobre. As condições finais proporcionam efeitos ecológicos catastróficos aos rios, tornando-os impróprios para o desenvolvimento das populações aquáticas, uso na agricultura e abastecimento industrial e doméstico (ALEXANDRE, 1996).

A deposição de rejeitos piritosos sem a devida compactação e revestimento dos taludes com argila e posterior revegetação favorece a oxidação da pirita. O ar transporta o oxigênio e a umidade necessária à formação do ácido. Desta forma, uma vez expostos ao ar, sem a devida cobertura e isolamento, os rejeitos piritosos provenientes das minerações e beneficiamento do carvão desencadeiam esta reação que ocorrerá até que toda a pirita seja oxidada ao sulfato ferroso (FeSO_4) e seja formado o ácido sulfúrico (H_2SO_4) proporcional à quantidade de pirita (ALEXANDRE, 1996).

A poluição dos recursos hídricos não cessa a partir da paralisação de uma atividade de mineração. Ao contrário de outras atividades industriais, a geração de poluentes continua ativa e extremamente danosa ao meio ambiente por centenas de anos após o término dessas atividades. Esse tempo é proporcional à quantidade de

material exposto, concentração de rejeito piritoso, granulometria do material depositado, grau de compactação, entre outros (ALEXANDRE, 1996).

Figura 1: Principais impactos causados nos ecossistemas pela mineração e pelo seu processamento.



Fonte: Rigotti (2002)

3.4 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A recuperação de ecossistemas degradados é uma atividade que ocorre há muito tempo, podendo-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões. Porém, ela se caracterizava como uma atividade baseada apenas em concepções teóricas, sendo executada normalmente como uma prática de plantio de mudas, com objetivos muito específicos, sem uma metodologia padrão ou adequada, com poucos estudos de caso, onde o objetivo principal era a estética da floresta, e acreditava-se que o visual fosse o ponto mais importante na recuperação de um ecossistema (MOREIRA, 2017).

Recentemente, a recuperação de áreas degradadas ganhou atenção maior referente a sua metodologia, principalmente, a recuperação de áreas degradadas por mineração. Lopes et al. (2009) explica como a recuperação ambiental dessas áreas é

um processo moroso. Utilizando uma analogia que compara a recuperação ambiental a um médico tentando curar o paciente, a autora comenta que é preciso vários exames e análises para diagnosticar a “doença” e indicar a “cura”, ou seja, não é possível a definição de uma metodologia com critérios de reabilitação ambiental sem antes a confecção de estudos completos do ambiente. Outra questão intrínseca, nesses casos, é o fato de não existir uma fórmula ou receita de recuperação a todas as áreas indistintamente.

Utilizando uma técnica de mapeamento geológico-geotécnico, proposto por Santo e Lopes (2004), profissionais do IPAT-UNESC foram capazes de planejar a tomada de ações, que consistia em: planejar estudos ambientais em extensas áreas; definir áreas-fontes de contaminantes; delimitar zonas com diferentes graus de regeneração ambiental; e mapear locais com riscos geológicos. Com essas informações foi possível propor medidas de reabilitação mais contundentes (LOPES et al., 2009).

As etapas de reabilitação de áreas com estéreis e rejeitos de mineração consistem, de modo geral, em: retirada e deposição do material de rejeito e estéril em áreas controladas; remodelagem da superfície do terreno; reconstrução de solo; introdução de espécies vegetais; neutralização e aterramento de lagoas ácidas; aplicação de calcário sobre os estéreis remodelados; incorporação de calcário ao solo construído e cama de aviário; recobrimento do solo com turfa; e monitoramento das águas, do solo, das características geológicas e geotécnicas, da fauna e da flora, durante e após a reabilitação da área (IPAT, 2009; LOPES et al., 2009).

As etapas podem sofrer modificações dependendo das especificações de cada área degradada. As ações visam restabelecer o equilíbrio do ecossistema local, para reestabelecimento e manutenção da flora e fauna local, além de isolar as fontes de poluição contribuintes da alteração do solo e recurso hídricos (IPAT, 2009).

3.5 ACP DO CARVÃO

Em 1993 o Ministério Público Federal iniciou uma Ação Civil Pública, que posteriormente ficou conhecida como ACP do Carvão, responsabilizando o estado de Santa Catarina, a União Federal e empresas mineradoras pelos danos ambientais causados na região (LADWIG; DAGOSTIM; BACK, 2018). O principal objetivo da ACP é a recuperação ambiental nas áreas degradadas pelo processo de extração de

carvão, como bocas de mina abandonadas, áreas com depósito de rejeito e áreas mineradas a céu aberto. (SOUZA *et al.*, 2011).

Os critérios para recuperação ou reabilitação das áreas degradadas pela mineração de carvão foram definidos em 2008 após consenso de uma equipe multidisciplinar formada por profissionais do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA na época), Agência Nacional de Mineração (DNPM na época), Ministério Público Federal e o Grupo Técnico de Assessoramento. Após sua criação, o documento sofreu sete revisões, sendo a última datada de 16 de novembro de 2015 (BRASIL, 2015).

O Ministério Público baseou-se na Lei nº 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000) para estabelecer a definição de conceitos básicos no processo da ACP do Carvão e, especificamente em seu art. 2º, esta lei dispõe:

Recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original (inciso XIII).

Restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original (inciso XIV).

Pelo fato de os passivos ambientais gerados pela mineração encontrarem-se em locais onde naturalmente ocorriam formas primárias ou em estágio avançado de regeneração da formação da Floresta Ombrófila Densa, é inviável tecnicamente a restauração das características originais, pela necessidade de décadas para alcançar tais estágios (BRASIL, 2015). Portanto, por conceber que o passivo ambiental cessará e que as mais básicas características do ecossistema serão restituídas, o Ministério Público utiliza o termo recuperação para os processos implantados nas áreas degradadas inseridas na ACP do Carvão (BRASIL, 2015).

A ACP do Carvão agrupou as áreas em distritos espalhados por toda a região sul de Santa Catarina. Em Treviso encontram-se dois distritos inteiramente inseridos nos limites municipais: o Distrito 05 denominado Forquilha, com sete áreas delimitadas em seu interior e o Distrito 07 denominado Treviso, com quatro áreas em seu interior.

De forma geral, essas 11 áreas têm diferentes tamanhos, níveis de degradação e estágios de recuperação. Dessa forma, no presente trabalho serão destacadas apenas as áreas superiores a 100 ha e que estão em processo de

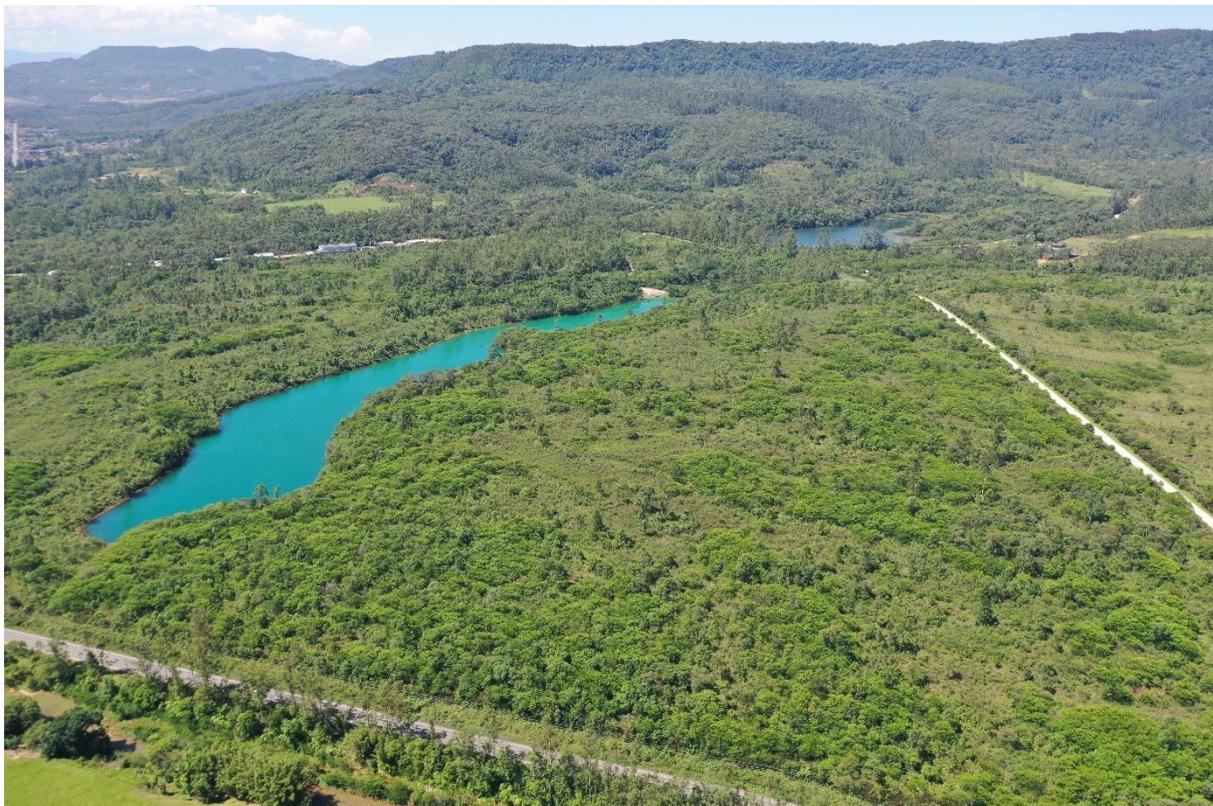
recuperação ambiental, pois imagina-se que apenas áreas relativamente grandes são capazes de alterar o rio de maneira significativa. Deste modo, duas áreas serão aprofundadas, o Campo Morozini e a Área Rio Pio.

3.5.1 Campo Morozini

O Campo Morozini representa uma área de 226,9 hectares que foi palco de mineração a céu aberto entre 1982 e 1989 pela Carbonífera Próspera S.A., o maquinário responsável pelas operações contava com a Dragline Marion, equipamento colossal com mais de mil toneladas que se mantém na cultura da sociedade regional até hoje.

Nesse local, o início da recuperação ambiental deu-se em junho de 2006 pela CSN, as obras de recuperação ambiental foram totalmente finalizadas em 2016 (BRASIL, 2019).

Figura 2: Vista aérea da área de recuperação Campo Morozini e as lagoas nele contidas.



Fonte: Do autor, 2021.

3.5.2 Rio Pio

A área de recuperação Rio Pio, encontra-se em processo de recuperação ambiental sob a responsabilidade da União, cuja intervenção é coordenada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, sendo que os trabalhos de recuperação ambiental foram iniciados em fevereiro de 2016 com prazo para conclusão até dezembro de 2019, de acordo com seu Plano de Recuperação de Área Degradada (IPAT, 2011).

Figura 3: Vista aérea da área de recuperação Rio Pio.



Fonte: Do autor, 2021.

3.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A medição dos parâmetros físico-químicos permite a identificação das fontes poluidoras ao longo do rio.

3.6.1 pH

O potencial hidrogeniônico expressa a concentração de íons de hidrogênio em soluções aquosas (ANDRADE, 2010). O pH indica as condições de alcalinidade, acidez ou neutralidade, sendo que os critérios de proteção da vida aquática fixam o pH entre 6 e 9, conforme resolução do CONAMA 357/2005.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (MARTINS et al., 2007).

3.6.2 Potencial oxirredução (REDOX)

Apesar de o potencial redox ser medido de forma direta desde o início do século passado em elementos como água, solo, efluentes e sedimentos, foi após a publicação do estudo de Baarkings *et al.* (1960) que este parâmetro se tornou frequente em estudos geoquímicos, limnológicos e de química aquática (JARDIM, 2014).

Ainda, cabe ressaltar que esses dados necessitam de cautela ao serem analisados, ao passo que ambientes aquáticos naturais sofrem constantes alterações e, dessa forma, há casos em que a cinética não permite condições de equilíbrio termodinâmico na estimação desse parâmetro (JARDIM, 2014).

3.6.3 Oxigênio Dissolvido

Para Pinto et al. (2009) o oxigênio dissolvido é fundamental para manutenção da qualidade da água e da vida aquática, por esta razão, é amplamente utilizado como parâmetro de qualidade da água e é um fator determinante para identificação de poluentes no corpo hídrico.

Elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios, o oxigênio dissolvido também é essencial para a maioria dos peixes, onde a maior parte das espécies não sobrevive a concentrações inferiores que 4,0 mg/L. Portanto, é válido dizer que oxigênio dissolvido é de fundamental importância para a composição

de índices de qualidade de águas (IQA), bem como de extrema relevância para legislações específicas (PINTO et al., 2009).

Como sendo um gás solúvel em água, as concentrações de O. D. recomendáveis pelo CONAMA Resolução 357/2005, classe 1, é de 10,0 a 6,0 mg/L.

3.6.4 Condutividade Elétrica

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na água. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (PINTO et al., 2009).

Os valores de condutividade elétrica tendem a aumentar paralelamente ao aumento de sólidos dissolvidos na água, fornecendo uma boa indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, porém, este parâmetro não fornece indicação de valores dos componentes dissolvidos. Quanto maior o valor de condutividade elétrica, mais corrosiva a água (CETESB, 2009).

3.6.5 Sólidos Totais Dissolvidos - TDS

São considerados sólidos dissolvidos partículas ou substâncias com diâmetros menores que 1,2 μm (SAMPAIO et al., 2007). A Resolução CONAMA 357/2005 define o valor máximo de Sólidos Totais Dissolvidos como 500 mg/L para as águas doces. Fonseca (2005) pontua que os valores de TDS são diretamente proporcionais aos de condutividade, sendo possível averiguar que o acréscimo de um corresponde ao acréscimo do outro e vice-versa.

3.6.6 Turbidez

Turbidez é uma propriedade física da água, é a medida da dificuldade que a luz tem para atravessar uma certa quantidade de água.

A designação de uma água turva é aplicada às águas que contenham matérias em suspensão, as quais interferem com a passagem da luz através da água. A turvação pode ser causada por uma enorme variedade de

matérias em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, as quais variam desde partículas coloidais até sólidos de certas dimensões. (DE SOUZA, 2001).

3.7 SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

A principal causa da poluição hídrica na região Sul de Santa Catarina é proveniente do processo ou extração e beneficiamento de carvão mineral (ALEXANDRE, 1996). Na década de 90, toneladas de rejeitos piritosos, carbonosos e xistosos, gerados pelo beneficiamento do carvão, eram lançados nos rios através de efluentes, lixiviação dos depósitos de rejeitos e drenagem de minas de subsolo e céu aberto, acarretando em elevadas taxas de acidez.

21 anos atrás, Alexandre (2000) pontua que próximo à nascente do rio Mãe Luzia, a água era considerada de ótima qualidade, porém a partir das primeiras mineradoras, os efeitos negativos da exploração do carvão se sobressaem, tornando as águas do Mãe Luzia altamente poluídas pela presença de metais pesados, entre eles o manganês, cobre, alumínio, chumbo, arsênio e zinco.

No estudo de Cechella (2010), o autor conclui que o rio Mãe Luzia, a montante da área de recuperação Rio Pio, encontrava-se comprometido com a atividade de mineração de carvão, enquanto que o Rio Pio não apresentava contaminação por carvão a montante da área de recuperação. Entretanto, a jusante da mesma área, as águas do rio Mãe Luzia apresentavam qualidade pior que a montante, indicando que o Rio Pio exercia influência sobre a qualidade das águas superficiais.

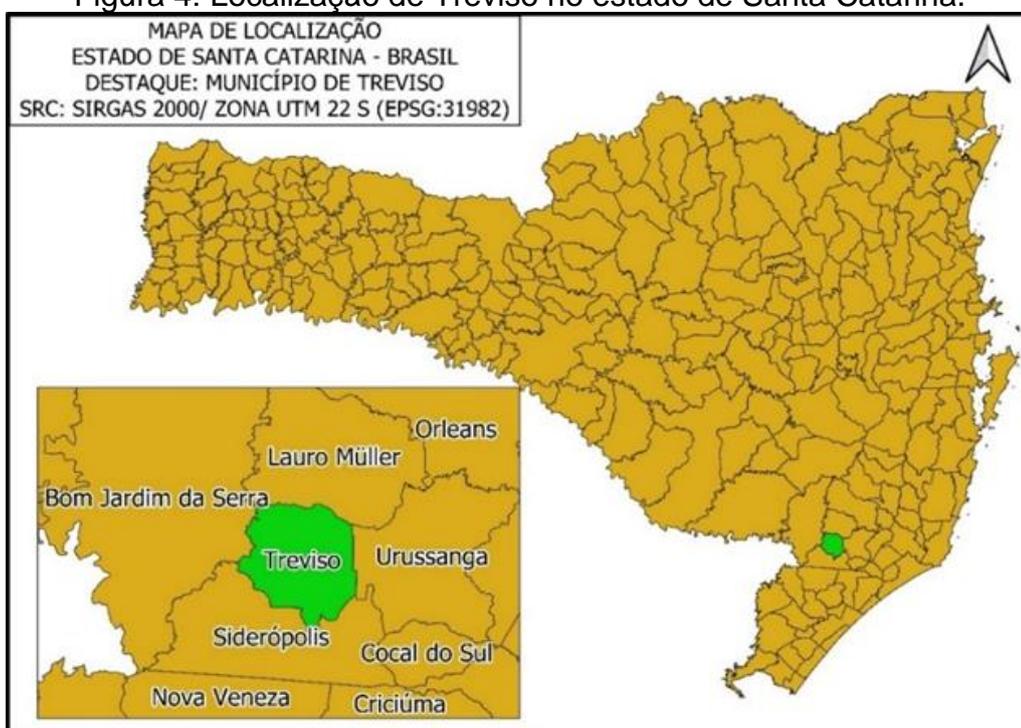
A qualidade das águas superficiais nos rios da bacia carbonífera é analisada desde o 4º Relatório de Indicadores Ambientais, realizado pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA), anualmente (BRASIL, 2019). De modo geral, as análises mostram uma tendência à redução das concentrações de acidez nas áreas com passivos em processo de recuperação ambiental.

Apesar dos esforços supracitados, nos dias de hoje, a região carbonífera de Santa Catarina ainda é enquadrada entre as mais impactadas ambientalmente no país inteiro. Os recursos hídricos ainda apresentam níveis críticos de comprometimento tanto em contaminação como em perda de biodiversidade. Esses impactos atingem não somente as regiões perto das minas, mas por todas as três principais bacias dos rios Urussanga, Tubarão e Araranguá (MENEZES *et al.* 2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em toda a extensão do rio Mãe Luzia dentro dos limites municipais de Treviso, Santa Catarina. O município está inserido na Região da Associação dos Municípios da Região Carbonífera - AMREC, se limitando ao norte com o município de Lauro Muller, ao sul com o município de Siderópolis, ao leste com o município de Urussanga e ao oeste com Bom Jardim da Serra. O centro da cidade localiza-se nas coordenadas UTM 650928,819 E / 6844813,760 N, estando a uma altitude de 157 metros em relação ao nível do mar (IBGE, 2021).

Figura 4: Localização de Treviso no estado de Santa Catarina.



Fonte: IBGE (2021).

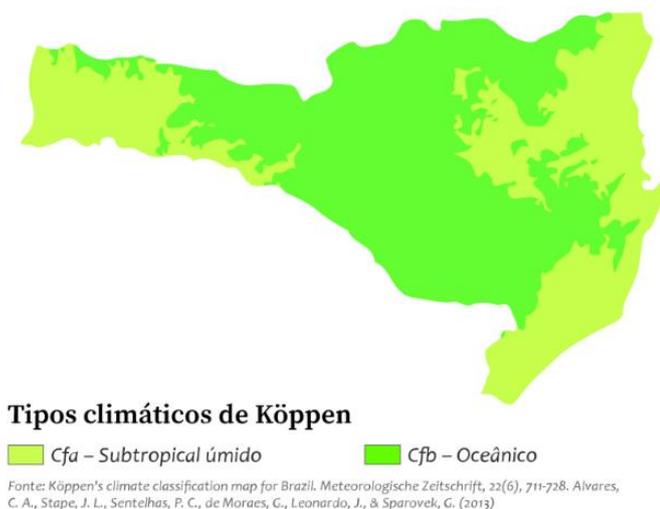
A Bacia Hidrográfica do rio Araranguá localiza-se no Sul de Santa Catarina, em região entre a Serra Geral e o Oceano Atlântico. Segundo Alexandre (2000) a bacia ocupa área de 3.039 km² e drena o território de dezesseis municípios. Nesse sentido, essa bacia contribui para a hidrologia da maior parte de Jacinto Machado, Criciúma, Araranguá e Treviso, aproximadamente metade de Içara e uma pequena parte de Ermo, Cocal do Sul e Arroio do Silva. Além disso, Siderópolis, Nova Veneza, Forquilha, Maracajá, Turvo, Meleiro, Morro Grande e Timbé do Sul estão totalmente inseridos na bacia.

Dentre os principais rios desta bacia está o Mãe Luzia, sendo que à sua jusante ele é um dos formadores do rio Araranguá. O rio Mãe Luzia tem sua nascente nas imediações da Serra Geral, no município de Treviso e a bacia em que este rio está inserido abrange grande parte da Bacia Carbonífera de Criciúma (GONÇALVES, 2012).

O clima do Sul de Santa Catarina é caracterizado como Cfa, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger. Este clima subtropical, com verão quente, tem por característica temperaturas maiores que 22° C no verão e mais de 30 mm de chuva no mês mais seco (ALVARES et al., 2013).

Figura 5: Tipos climáticos de Santa Catarina.

Tipos climáticos de Santa Catarina



Fonte: ALVARES et al., (2013).

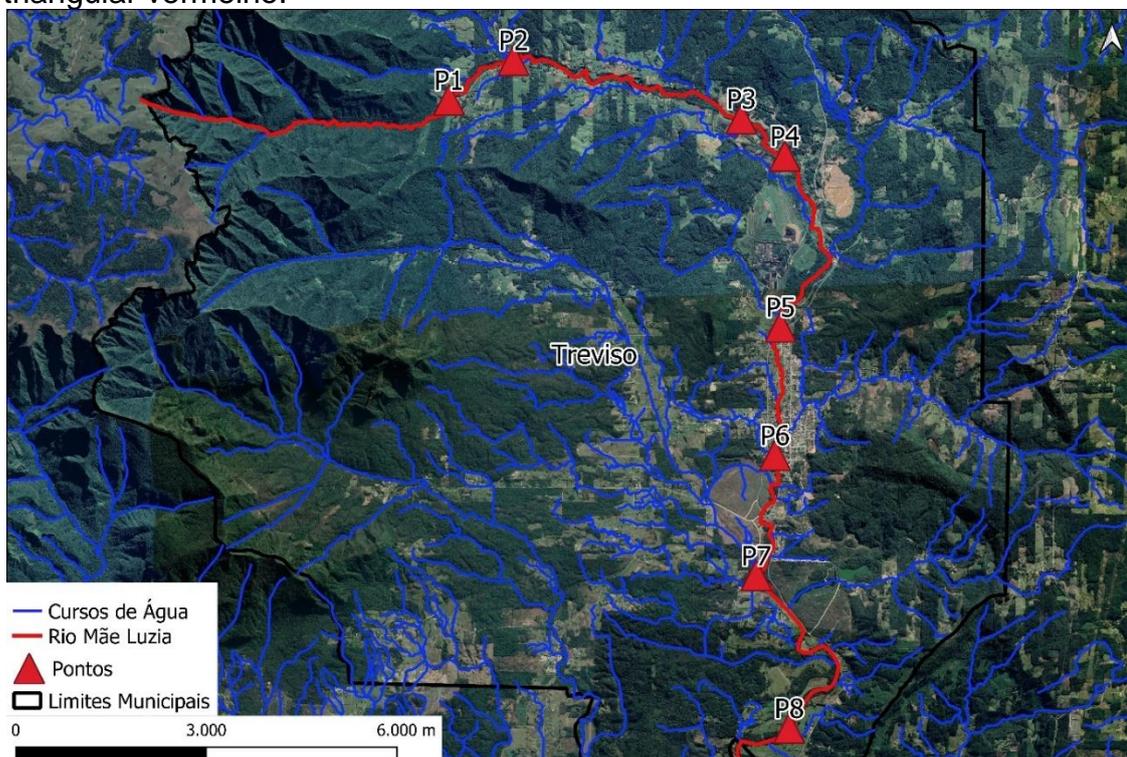
A ocupação do solo nas margens do rio Mãe Luzia em Treviso pode ser caracterizada em três partes, sendo elas: à montante das mineradoras, zona urbana e à jusante da zona urbana. Desde sua nascente até a proximidade da primeira mineradora em que o rio transcorre, existe uma faixa de vegetação nativa em sua Área de Preservação Permanente de 50 metros. Há, também, a predominância de residências rurais nessa região, de forma que o rio não absorve nenhuma grande carga poluidora.

A partir da primeira mineradora pela qual passa, o rio Mãe Luzia começa a sofrer impactos consideráveis, sendo que sua Área de Preservação Permanente é totalmente antropizada em alguns pontos, com construções edificadas na extremidade

do rio e a vegetação nativa vai dando espaço para vegetação exótica invasora, principalmente indivíduos do gênero *Eucalyptus*. As estradas que dão acesso às duas mineradoras são de terra e, com o intenso tráfego de caminhões transportadores de carvão, as estradas acumulam resquícios de rejeito de carvão, o qual é transportado pela água da chuva até o rio. Nesta região também estão presentes montanhas de rejeito de carvão, algumas a poucos metros da calha do curso d'água. Já na zona urbana, o rio sofre intensa pressão antrópica, com lançamentos de esgoto sanitário não tratado, deposição de resíduos sólidos, Área de Preservação Permanente pouco conservada ou inexistente e recebimento de toda a drenagem pluvial da parte urbana.

Em sua última parte, após a zona urbana, o rio transpassa por duas áreas em processo de recuperação ambiental e recebe as águas do rio Pio. Nesse local, a ocupação do solo é diversificada, sendo que em alguns pontos as margens do rio são bem preservadas e em outros a APP é composta por pastagem ou plantações. Nesta área, existe baixa densidade populacional, com predominância de residências rurais.

Figura 6: Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho.



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; Google Earth (adaptado por autor), 2021.

Em 2019, a Fundação Municipal do Meio Ambiente de Treviso (FUNTREV) recebeu uma quantia de R\$ 250.000,00 do Ministério Público Federal, destinada ao projeto DATA, que tinha como plano de ação principal o monitoramento do rio Mãe Luzia. O dinheiro foi utilizado para a aquisição de diversos equipamentos, sendo que dentre eles foram adquiridas uma sonda multiparâmetros e uma estação meteorológica.

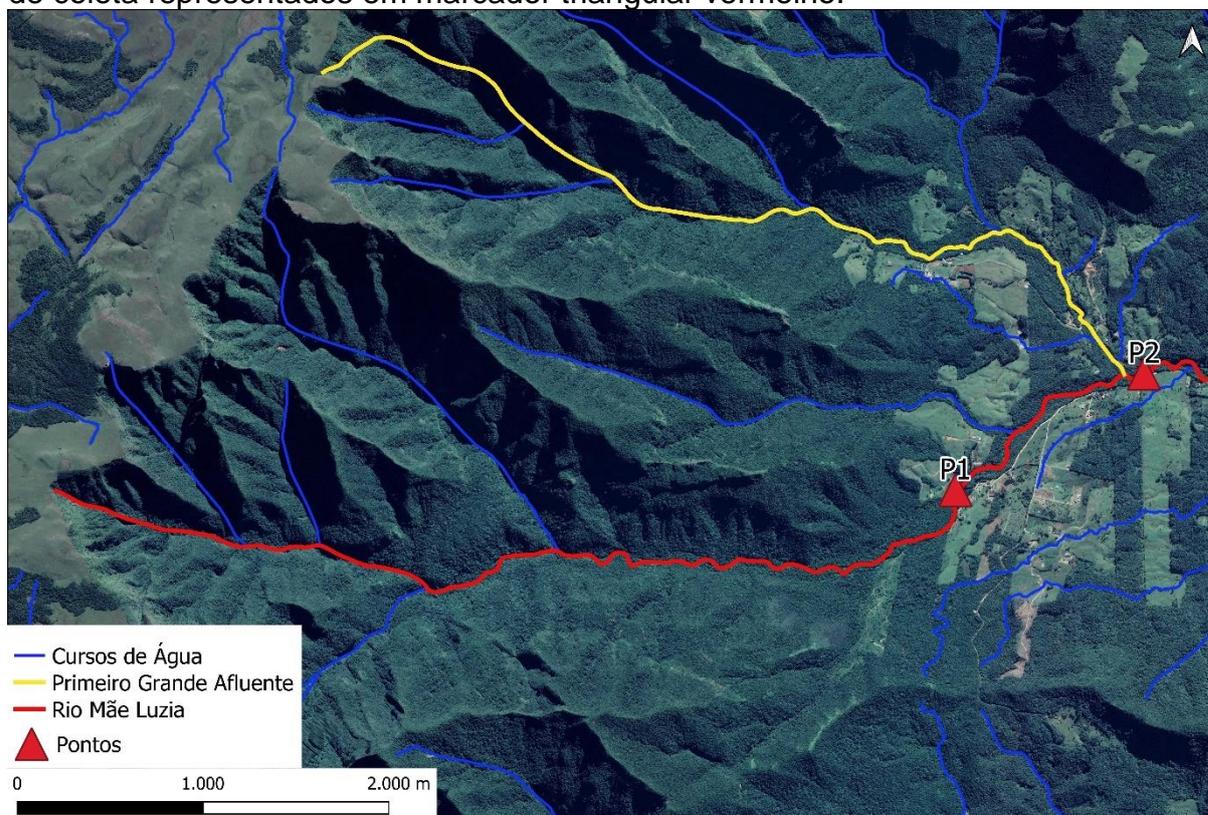
As coletas foram realizadas quinzenalmente a partir do dia 15 de julho de 2020, tiveram a duração de quatro meses, com a última sendo realizada no dia 30 de outubro de 2020, totalizando oito amostragens. Cada dia de campanha gerou uma memória com os sete parâmetros para cada um dos oito pontos dispostos pelo Rio.

Para coleta dos dados de parâmetros da água foi utilizada uma sonda multiparâmetros, modelo AP-800 da marca *Aquaread*, que permitiu a medição de sete descritores: Temperatura; pH; Potencial de Oxi-Redução; Oxigênio Dissolvido; Condutividade Elétrica; Sólidos Totais Dissolvidos e Turbidez. A sonda é um sistema portátil que proporciona facilidade em seu uso, composta por um display, quatro sensores envolvidos por uma cápsula furada e um cabo de três metros ligando-os. Ao colocar os sensores submersos na água, os parâmetros medidos são observados no display. Ao estabilizarem-se, os dados são coletados e armazenados em sua memória. Após levantados, os dados foram retirados da sonda e passados para um computador onde foram armazenados e, posteriormente, tabelados no software *Microsoft Excel*.

Oito pontos foram demarcados ao longo de toda a extensão do rio dentro do município. A localização destes fora escolhida com a intenção de monitorar os parâmetros antes e depois de determinados locais de interesse que possivelmente impactam o rio de forma negativa.

O primeiro ponto é o mais próximo de sua nascente, antes do curso d'água sofrer qualquer intervenção antrópica, é o ponto de controle. O ponto dois está localizado após o primeiro grande afluente.

Figura 7: Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho, traçado do primeiro grande afluente em amarelo, demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho.

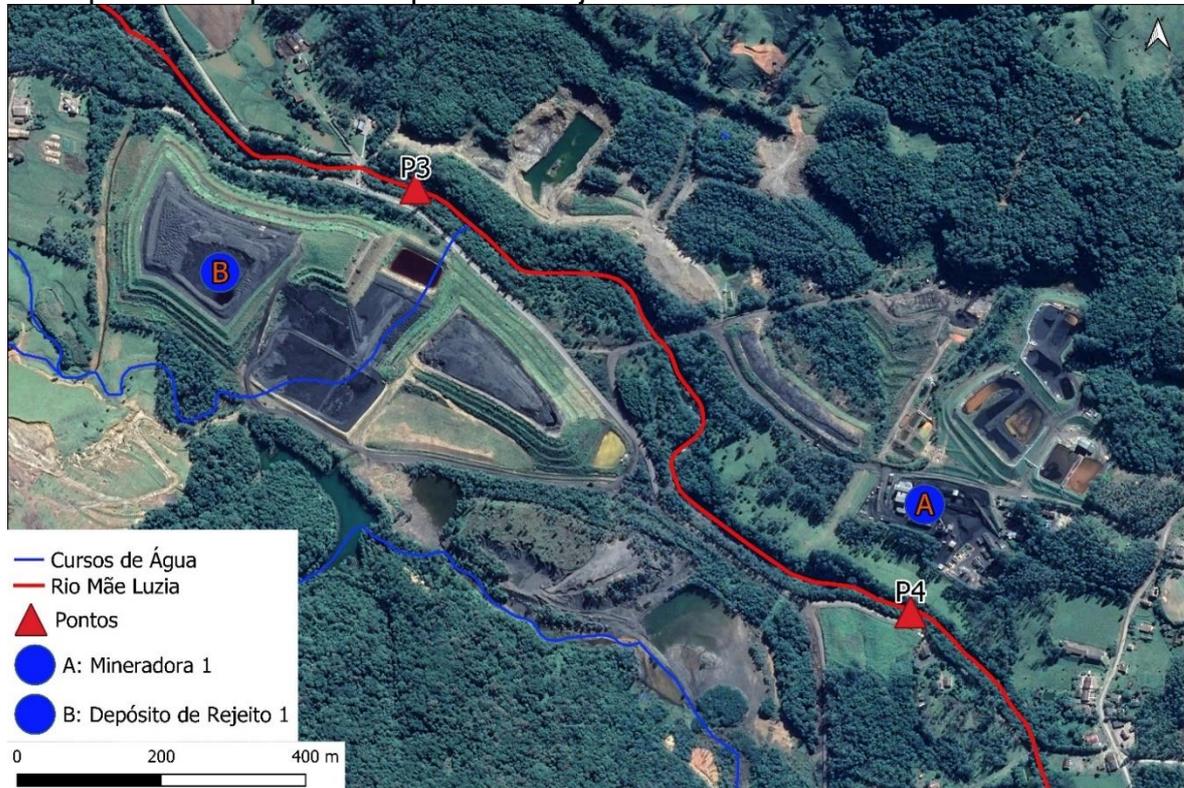


Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

O terceiro ponto fica à montante da primeira grande mineradora e do primeiro depósito de rejeito. O ponto quatro serve de controle de variação dos parâmetros após os dois pontos de interesse do ponto anterior, também serve de controle para analisar como os parâmetros estão à montante da segunda grande mineradora e do segundo depósito de rejeito (Figura 6).

O quinto ponto localiza-se antes do curso d'água passar pela zona urbana do município (Figura 7). O sexto ponto após a passagem da zona urbana e consequentemente após o deságue do rio Ferreira (Figura 8). O sétimo ponto localiza-se após o deságue do rio Pio (Figura 9). O oitavo e último ponto fica nas extremidades do município, à jusante da área de recuperação Campo Morozini, nos últimos metros do rio antes deste chegar a Siderópolis.

Figura 8: Localização dos pontos de coleta 03 e 04 em relação aos pontos de interesse. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Locais dos pontos de coleta representados em marcador triangular vermelho. O marcador “A” representa a primeira mineradora. O marcador “B” representa o primeiro depósito de rejeito.



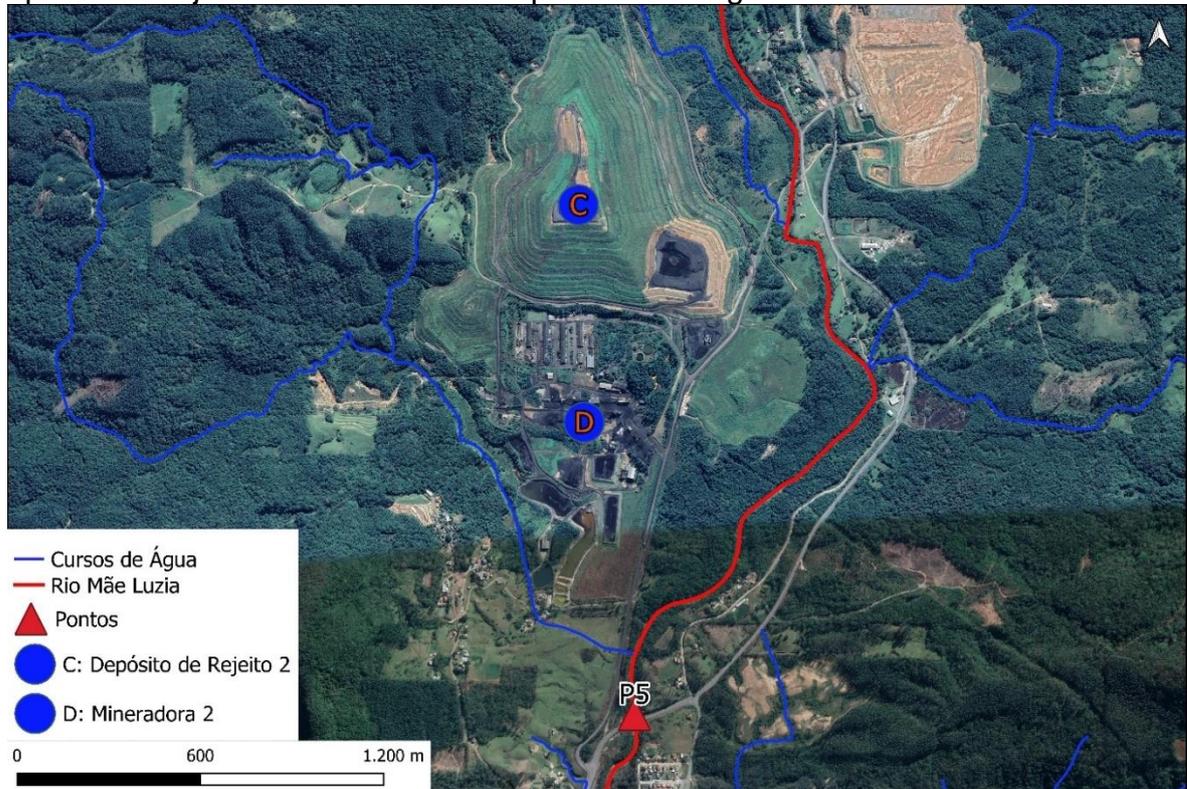
Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

Figura 9: Vista aérea da primeira mineradora (direita) e do primeiro depósito de rejeito (esquerda), com o Rio Mãe Luzia passando no meio destes.



Fonte: Do autor, 2021.

Figura 10: Localização do ponto de coleta 05. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho. O marcador “C” representa o segundo depósito de rejeito. O marcador “D” representa a segunda mineradora.



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

Figura 11: Vista aérea da segunda mineradora (a frente) e do segundo depósito de rejeito (ao fundo).



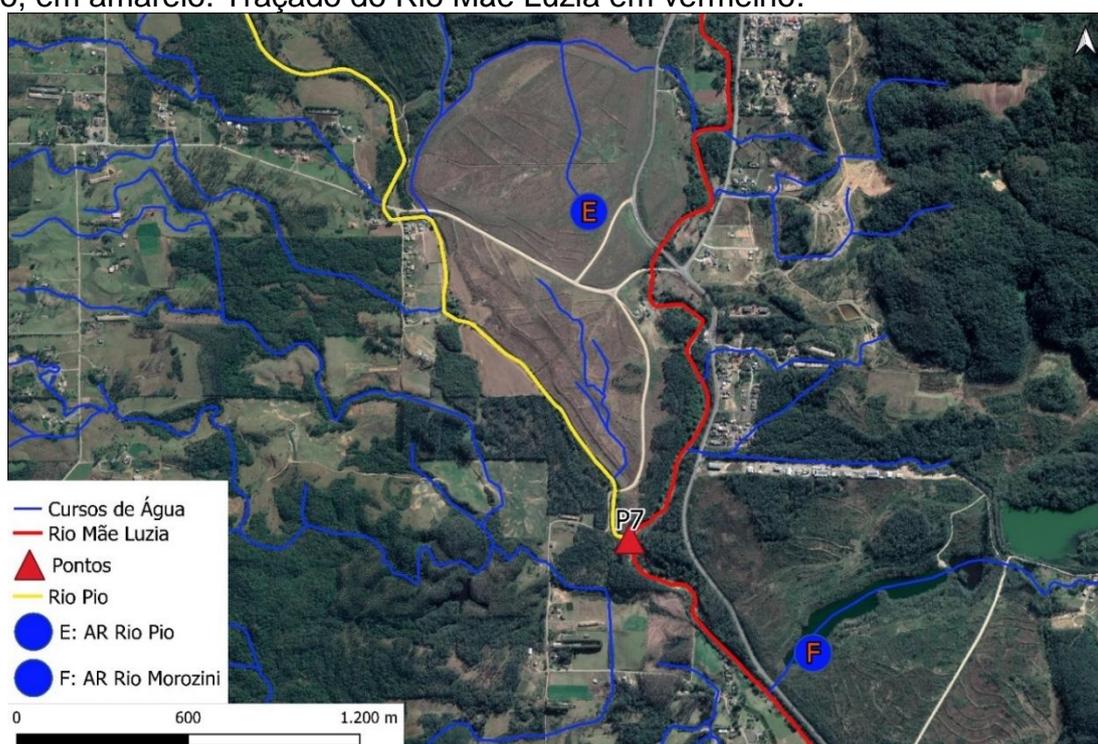
Fonte: Do autor, 2021.

Figura 12: Localização do ponto de coleta 06. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho, traçado do Rio Ferreira em amarelo, demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho.



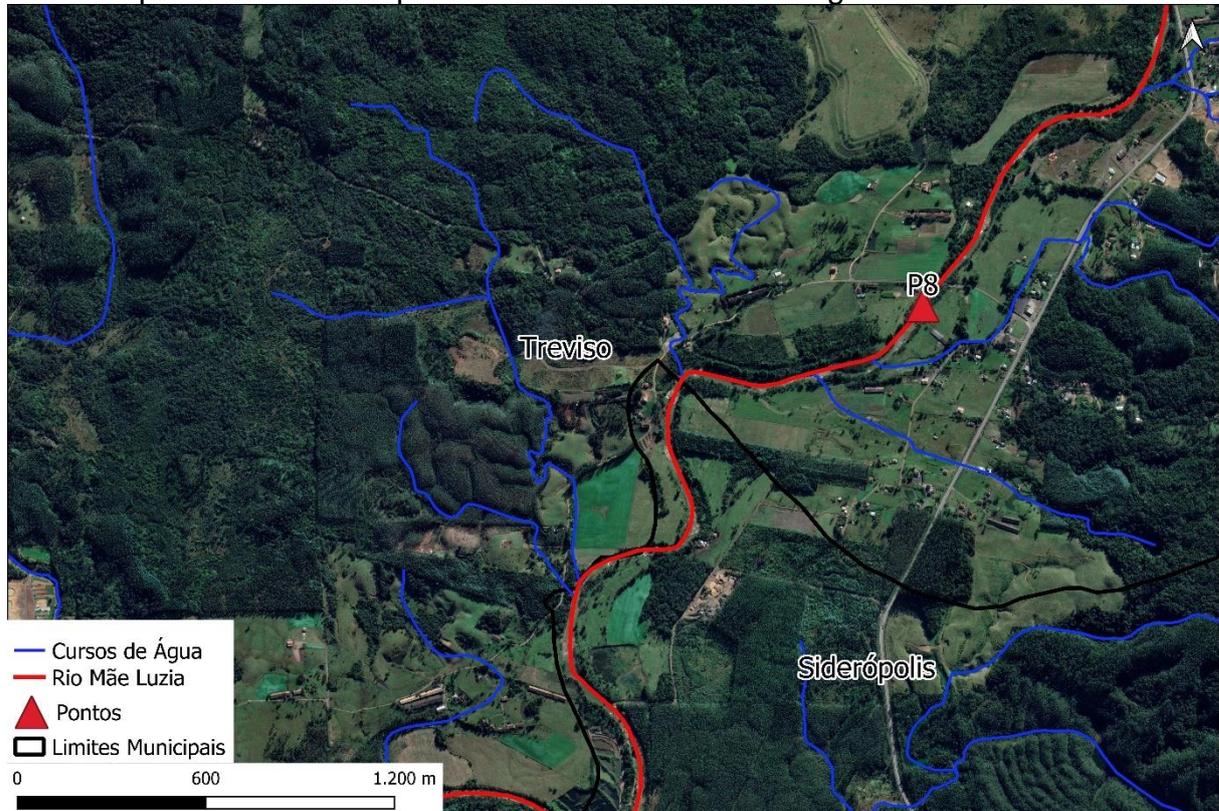
Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

Figura 13: Localização do ponto de coleta 07 entre as áreas de recuperação do Rio Pio (ao norte) e do Rio Morozini (ao sul), entre as áreas destaca-se o afluente Rio Pio, em amarelo. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho.



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

Figura 14: Localização do ponto 08 em relação ao limite municipal ao sul. Traçado do Rio Mãe Luzia em vermelho e demais afluentes na cor azul, no município de Treviso. Local do ponto de coleta representado em marcador triangular vermelho.



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2021; *Google Earth* (adaptado por autor), 2021.

O procedimento para coleta dos parâmetros físico químicos da água foi realizado seguindo alguns passos pré-estabelecidos, pensados para que a presença humana impactasse o mínimo possível a água naquele local. Sempre que possível a pessoa operando a sonda permanecia fora d'água, no leito do rio, de modo que sua presença não causasse qualquer alteração perceptível. Entretanto, em alguns pontos, esgotavam-se as possibilidades e fazia-se necessário que o operador coletasse os dados dos parâmetros com parte do corpo submerso no rio. Nesse caso, a primeira providência a se tomar era a de permanecer imóvel por um período para que o fluxo hídrico normalizasse parâmetros como a turbidez e, quando as condições normalizavam, o operador deveria virar-se de frente para o fluxo do rio, de modo que quando a sonda fosse introduzida na água, esta percorresse primeiramente a sonda para depois entrar em contato com o operador. Desta forma, as alterações provenientes de ações antrópicas na coleta de dados foram minimizadas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros físico-químicos coletados em cada ponto durante as oito campanhas foram agrupados em tabelas que demonstram o valor máximo, mínimo, média e desvio padrão de cada parâmetro em cada ponto.

5.1 PONTO 01

Quadro 2: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 01 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	12,3	16,2	14,69	1,38
pH	6,57	7,47	7,06	0,36
ORP REDOX (mV)	-5,2	113,6	48,71	39,06
DO (mg/L)	7,42	8,98	8,27	0,43
EC (uS/cm)	66	82	73,25	5,56
TDS (mg/L)	42	53	47,12	3,76
Turbidez (NTU)	0	0	0	0

No Ponto 01, a variação de pH foi de 0,9, sendo seu maior valor 7,47 no dia 15/07 e seu menor valor 6,57 no dia 30/10. O oxigênio dissolvido ficou entre 8 mg/L e 9 mg/L em sete campanhas, a quarta coleta foi a única a apresentar valor abaixo de 8, teve média de 8,2 mg/L. A condutividade elétrica se mostrou constante nos 4 meses, variando entre 82 e 66 uS/cm. O Total de Sólidos Dissolvidos também se mostrou com pouca variação, tendo seus valores sempre entre 53 e 42 mg/L. Em todas as campanhas a turbidez apresentou valor zerado.

Durante as oito campanhas, todos os parâmetros medidos estão de acordo com o disposto na legislação específica. Esse resultado já era esperado, uma vez que à montante deste ponto não é registrada a presença de nenhum fator poluidor, as Áreas de Preservação Permanente são bem conservadas e a ocupação rural é baixa ou inexistente.

5.2 PONTO 02

Quadro 3: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 02 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	11,7	16,2	14,5	1,65
pH	6,57	7,5	7,07	0,32
ORP REDOX (mV)	-6,2	103	41,1	38,94
DO (mg/L)	7,23	9,03	8,4	0,53
EC (uS/cm)	66	84	73,6	6,46
TDS (mg/L)	42	54	47,3	4,21
Turbidez (NTU)	0	0	0	0,00

No Ponto 02, a variação de pH foi de 0,93, sendo seu maior valor 7,50 no dia 15/07 e seu menor valor 6,57 no dia 15/09. O oxigênio dissolvido apresentou média de 8,4 mg/L. Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos e Temperatura apresentaram média praticamente idêntica ao ponto anterior. Em todas as campanhas a turbidez apresentou valor zerado.

Mesmo com a ocupação rural sendo maior neste trecho, as Áreas de Preservação Permanente sofreram uma notável diminuição e com o deságue do primeiro grande afluente, durante os quatro meses de estudo nenhum parâmetro analisado foi alterado de forma significativa.

5.3 PONTO 03

Quadro 4: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 03 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	10,8	17,3	14,9	2,47
pH	6,61	7,47	7,03	0,30
ORP REDOX (mV)	-9,1	72,8	33,79	29,65
DO (mg/L)	6,4	9,49	8,4	0,99
EC (uS/cm)	90	112	103,3	7,55
TDS (mg/L)	58	72	66,7	4,79
Turbidez (NTU)	0	0	0	0

No último ponto anterior à primeira grande mineradora algumas alterações nos parâmetros podem ser percebidas. Embora o pH e o Oxigênio Dissolvido ainda mantenham uma média parecida com os dois pontos anteriores, aqui nota-se um aumento da Condutividade Elétrica média, chegando a 112 uS/cm no dia 15 de julho. Proporcionalmente, a média de Sólidos Dissolvidos Totais também aumenta em relação aos pontos à montante.

Apesar do valor médio de TDS estar abaixo do máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357, algumas bibliografias indicam que a condutividade elétrica acima de 100 uS/cm configura um ambiente que foi impactado de alguma forma. De toda forma, as médias continuam similares com os pontos 01 e 02.

O trecho à montante tem ocupação rural mais intensificada, com presença de aviários e monocultura de espécies exóticas como *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp.. As Áreas de Preservação Permanente, apesar de presentes em boa parte do rio, têm largura variada e vão se reduzindo à medida que o rio se aproxima da área urbana.

Parte do primeiro depósito de rejeito está à montante do Ponto 03, a lixiviação deste depósito pela água da chuva pode acarretar no aumento de Sólidos Totais Dissolvidos.

5.4 PONTO 04

Quadro 5: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 04 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	10,6	18,1	15,5	2,83
pH	5,96	7,57	6,8	0,52
ORP REDOX (mV)	-47,8	29,6	-22,09	22,15
DO (mg/L)	7,69	11,38	8,9	1,12
EC (uS/cm)	120	1695	696,6	532,52
TDS (mg/L)	78	1101	452,4	346,12
Turbidez (NTU)	0	0	0	0

Após o primeiro depósito de rejeito e a primeira grande mineradora nota-se um aumento brusco nos parâmetros de Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais, tendo picos de 1695 uS/cm e 1101 mg/L no dia 30 de setembro, respectivamente.

Focando apenas no parâmetro TDS, pode-se observar grande variação de seus valores entre as campanhas, o que explica o maior desvio padrão entre todos os pontos, a variação do maior valor para o menor é de 1023 mg/L.

Quadro 6: Data e Hora das campanhas e valor observado de Sólidos Dissolvidos Totais.

Data & Hora	TDS (mg/L)
15/07/2020 11:36	78
30/07/2020 10:04	97
17/08/2020 14:39	405
31/08/2020 10:20	793
15/09/2020 09:49	649
30/09/2020 10:05	1101
15/10/2020 07:28	124
30/10/2020 10:03	372

Checando os dados de pluviometria da estação meteorológica da FUNTREV, pôde-se verificar que choveu em Treviso durante todo os dias 30 e 31 de agosto e 30 de setembro, a lixiviação das estradas de acesso a mineradora bem como do depósito de rejeito podem ter contribuído para o aumento deste parâmetro nos dias de amostragem. Entretanto, o valor identificado na quinta campanha, no dia 15/09, está acima do disposto na Resolução CONAMA 357 e não foi registrado a presença de chuva neste dia. O restante das campanhas apresentou valores abaixo de 500 mg/L.

É válido citar que o aumento de TDS nesses dias chuvosos foi muito mais acentuado nos pontos 04 e 05 em comparação com os pontos localizados no centro urbano, que recebem toda a carga pluvial da cidade.

Outro aspecto que merece destaque é o aumento da temperatura em mais de dois graus em relação ao Ponto 02 no mesmo dia do pico de Condutividade e TDS, 30 de setembro, em que a temperatura variou de 15,9°C para 18,1°C. O tempo de coleta entre esses dois pontos neste dia foi de apenas 34 minutos.

Embora sejam ligeiramente menores que as médias dos pontos à montante, os valores médios tanto de pH como de Oxigênio Dissolvido continuam dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 357 para rios de água doce. Nenhum valor de turbidez foi registrado nas coletas.

Esse é o primeiro ponto que teve uma coleta com valor de pH abaixo de 6, aferindo 5,96, no dia 15 de setembro. Todavia, mesmo com os níveis altos de TDS, apenas no dia 15 de setembro o pH foi menor que 6, nas outras campanhas este parâmetro não gerou qualquer grande mudança no pH. Não é possível concluir se apenas elementos encontrados naturalmente estavam dissolvidos na água, ou se existia a presença de metais pesados dissolvidos.

5.5 PONTO 05

Quadro 7: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 05 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	11,1	19,2	15,9	2,86
pH	6,08	7,33	6,5	0,42
ORP REDOX (mV)	-43,1	38,2	-13,53	23,17
DO (mg/L)	7,43	10,35	8,7	0,86
EC (uS/cm)	228	1467	928,4	433,58
TDS (mg/L)	148	953	603	281,83
Turbidez (NTU)	0	0,6	0,1	0,2

No Ponto 05 o pH continua diminuindo em comparação aos pontos à montante, atingindo 6,5 de média. O oxigênio dissolvido continua apresentando média acima do determinado pela Resolução CONAMA 357 para água doce de classe 1. Assim como no Ponto 04, os valores de Condutividade Elétrica aumentam abruptamente a partir da quarta campanha, no dia 31 de agosto, não registrando valores acima de 1000 uS/cm apenas na quinta campanha.

Paralelamente à condutividade, os Sólidos Totais Dissolvidos também apresentam um aumento brusco em apenas quinze dias, registra-se 452 mg/L no dia 17 de agosto e 953 mg/L no dia 31 do mesmo mês, a média das últimas cinco campanhas de TDS foi de 793 mg/L.

Em comparação direta com o ponto anterior, os valores aferidos de TDS são maiores em 75% das campanhas, uma hipótese é que a passagem do rio pela segunda mineradora e pelo segundo depósito de rejeito aumentam os sólidos totais dissolvidos. 5 das 8 campanhas apresentam valor acima do estipulado em legislação específica, sendo que para as duas últimas, não foi registrado chuva no município.

Neste ponto é registrado os primeiros valores de turbidez, que não zeraram na quarta e oitava campanha, 0,2 NTU e 0,6 NTU respectivamente.

5.6 PONTO 06

Quadro 8: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 06 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	11,2	19,6	16,4	2,70
pH	6,3	7,28	6,6	0,33
ORP REDOX (mV)	-24,9	7,2	-8,95	8,77
DO (mg/L)	7,09	9,97	8,86	0,87
EC (uS/cm)	304	1189	759,6	324,85
TDS (mg/L)	197	772	493,3	211,13
Turbidez (NTU)	0	3,5	0,65	1,17

Após o centro da cidade e do deságue do Rio Ferreira, o pH e o Oxigênio Dissolvido continuam dentro dos parâmetros da Resolução CONAMA 357, Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos apresentam média levemente inferior ao ponto anterior, esses dois parâmetros apresentaram valores, em todas as campanhas, menores que o Ponto 05. Isto é, mesmo com toda carga pluvial do centro e esgoto doméstico irregular despejado no rio, os valores não apresentam elevação.

Com isso, é possível afirmar que centro da cidade e o deságue do afluente Rio Ferreira não impactam o Mãe Luzia de maneira negativa, pois todos os atributos apresentam valores melhores que o ponto diretamente anterior, ou se esse for o caso, o impacto não é suficiente para piorar o estado em que os parâmetros chegam.

5.7 PONTO 07

Quadro 9: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 07 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	11,33	20,13	16,6	2,78
pH	6,06	7,3	6,6	0,41
ORP REDOX (mV)	-19,4	14,6	-3,16	10,48
DO (mg/L)	6,83	9,12	8,3	0,69
EC (uS/cm)	253	884	651,4	197,13
TDS (mg/L)	164	574	423	128,17
Turbidez (NTU)	0	5,7	1	1,85

Em relação ao ponto à montante o pH tem exatamente a mesma média, enquanto o Oxigênio Dissolvido apresenta uma leve queda. Os valores de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos continuam apresentando diminuição.

No 12º Relatório de Indicadores Ambientais, elaborado pelo GTA, são apresentados os pontos do monitoramento hídrico da Área Rio Pio realizado pela CPRM. Dentre estes pontos, o ponto RP-005 encontra-se nas coordenadas UTM 650494 / 6842594, mesmo local do Ponto de coleta 07 do presente estudo. Pois bem, as quatro campanhas realizadas amostrando o pH do ponto RP-005 mostram valores bem abaixo dos apresentados aqui, sendo: 5,7 em 12/05/2016; 4,7 em 07/09/2016; 5,1 em 15/05/2017; 6,4 em 18/10/2017 (BRASIL, 2019).

No estudo de Cechella (2010), é averiguado que o Rio Pio impacta negativamente o Mãe Luzia, piorando os atributos analisados.

Portanto, pode-se observar que os parâmetros analisados durante as oito campanhas, mesmo com alguns valores desarmônicos com o que a legislação define, não apresentam piora após a área recuperada, conclui-se que a recuperação da área Rio Pio impacta de forma positiva os atributos analisados do Mãe Luzia.

5.8 PONTO 08

Quadro 10: Valores tabelados dos parâmetros observados no Ponto 08 durante as oito campanhas. Onde: **Min** = Valor mínimo observado; **Max** = Valor máximo observado; **Média** = Média dos oito valores; **Desv P.** = Desvio Padrão Populacional de todos os valores; **Temp (C)** = Temperatura em graus Celsius; **ORP REDOX (mV)** = Potencial Redox em milivolts; **DO (mg/L)** = Oxigênio Dissolvido em miligramas por litro; **EC (uS/cm)** = Condutividade elétrica em microsiemens por centímetro; **TDS (mg/L)** = Sólidos Totais Dissolvidos em miligrama por litro; **Turbidez (NTU)** = Turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica.

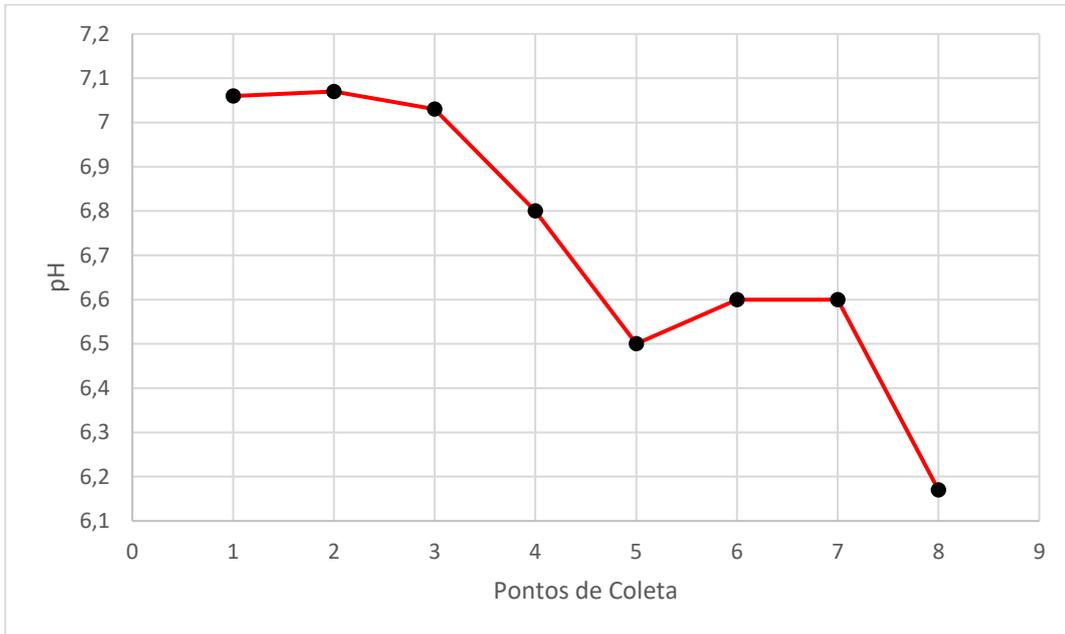
Parâmetro	Min	Max	Média	Desv P.
Temp (C)	12,2	20,9	16,9	2,89
pH	5,06	7,09	6,17	0,57
ORP REDOX (mV)	-8,3	196,1	51,94	67,29
DO (mg/L)	7,12	10,22	9	0,96
EC (uS/cm)	337	657	493,5	99,28
TDS (mg/L)	219	427	320,4	64,47
Turbidez (NTU)	0	722	90,8	238,59

O menor valor de pH de todo o estudo é encontrado no Ponto 08 no dia 31 de agosto, mesmo dia do grande aumento de Sólidos Totais Dissolvidos a partir do Ponto 04, entretanto, o valor de TDS aqui para o mesmo dia é de 427 mg/L, um valor bem abaixo do observado nos pontos anteriores, sublinha-se que nesse dia choveu na cidade. A média de pH é a menor observada de todos os pontos.

No trecho entre o Ponto 07 e 08, uma hipótese que pode explicar a diminuição do pH é a área de recuperação Campo Morozini, área esta que tem todo seu território drenado pelo Mãe Luzia. A baixa do pH no dia 31 de agosto, pode sugerir que com chuva, o escoamento da área pode carregar para o rio elementos que diminuam atributos como o pH. Também há a possibilidade do efluente advindo da área, que é continuamente descarregado no rio, ter interferido nesse fator. Entretanto, os valores de TDS são em sua maioria menores do que os observados no Ponto 07.

Na primeira campanha, foi aferido o valor de 722 NTU para turbidez nesse ponto, depois 3 NTU na segunda campanha e 0,5 NTU na quinta e sétima campanha. O primeiro valor é muito superior a todas as outras campanhas nos outros pontos, talvez aqui tenha ocorrido um erro na hora da coleta, de modo que a presença do pesquisador dentro do leito do rio fez com que se levantasse os sedimentos do fundo e estes alteraram o valor da turbidez, sendo normalizado nas outras campanhas.

Gráfico 1: Média de pH de todas as campanhas distribuídas pelos pontos de coleta.



A média de pH dos oito pontos de coletas ficou entre o indicado para águas doces de Classe 1, conforme Resolução CONAMA 357. Os valores apresentam uma queda gradual em relação ao curso da água. A maior média apresentada foi 7,07 no Ponto 02 e a menor 6,17 no Ponto 08, variação de 0,89.

Gráfico 2: Média de Oxigênio Dissolvido de todas as campanhas distribuídas pelos pontos de coleta.

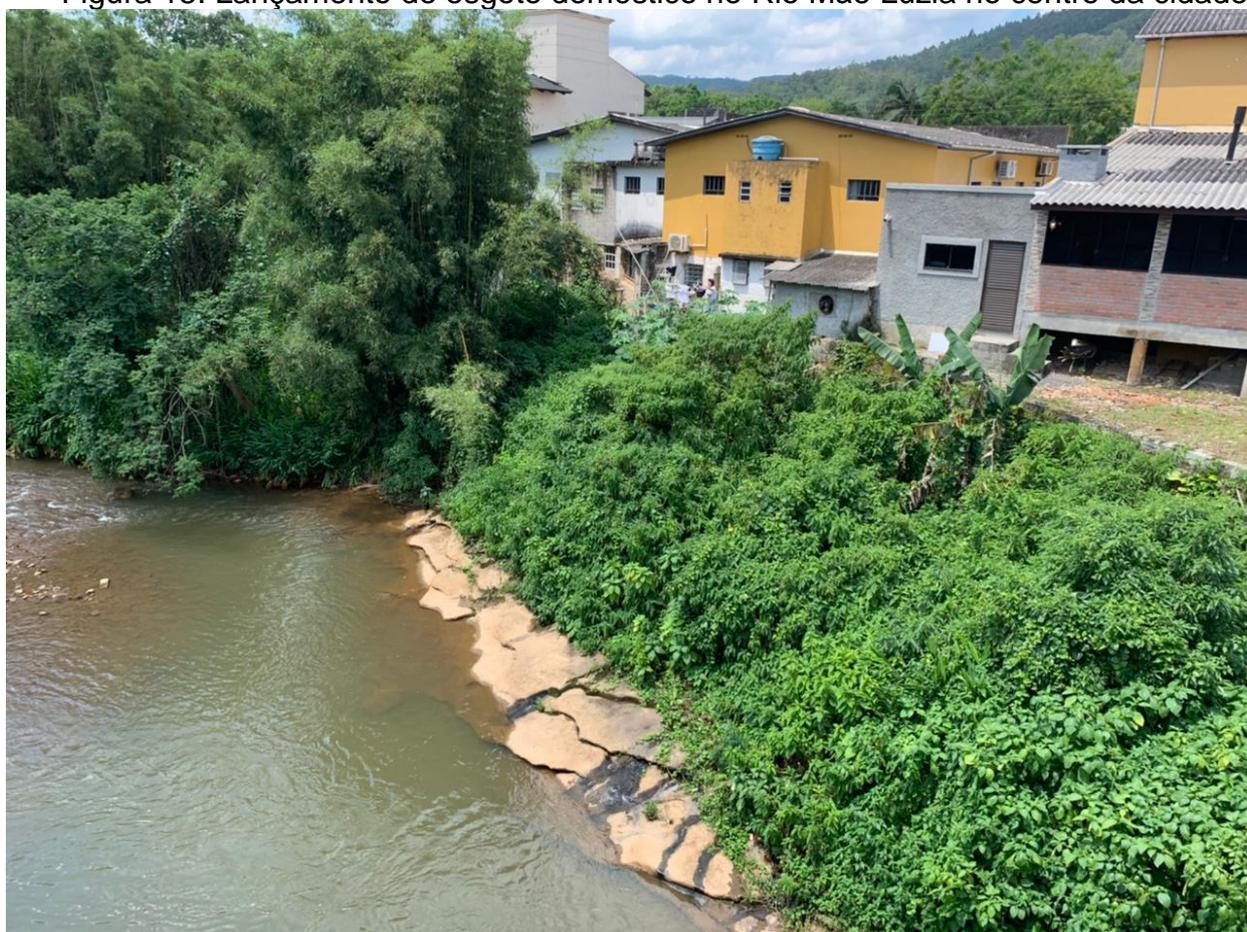


As médias de Oxigênio Dissolvido (mg/L) também ficaram acima do mínimo disposto na Resolução CONAMA 357 para águas doces de Classe 1. Tendo a menor média sendo 8,28 no Ponto 01 e a maior sendo 8,9 no Ponto 08.

A localização do Ponto 06 logo após o centro da cidade apresenta valores interessantes, esperava-se que com o rio recebendo toda carga pluvial da cidade e lançamento de esgoto doméstico irregular tanto no próprio curso, como no Rio Ferreira, os valores de Oxigênio Dissolvido apresentariam queda, entretanto, em comparação ao Ponto 05, anterior ao centro, em 5 campanhas os valores apresentaram aumento. A média do Ponto 06 é ligeiramente superior ao Ponto 05.

A carga poluidora que o rio recebe, entre o Ponto 05 e 06, não é suficiente para diminuição deste parâmetro, na maior parte das oito campanhas. Uma causa provável é que neste trecho o Mãe Luzia apresenta águas correntes, Nozaki et al. (2014) explica que o aumento de oxigênio dissolvido pode estar relacionado com a turbulência da água gerando maior troca de oxigênio do ar com a água.

Figura 15: Lançamento de esgoto doméstico no Rio Mãe Luzia no centro da cidade.



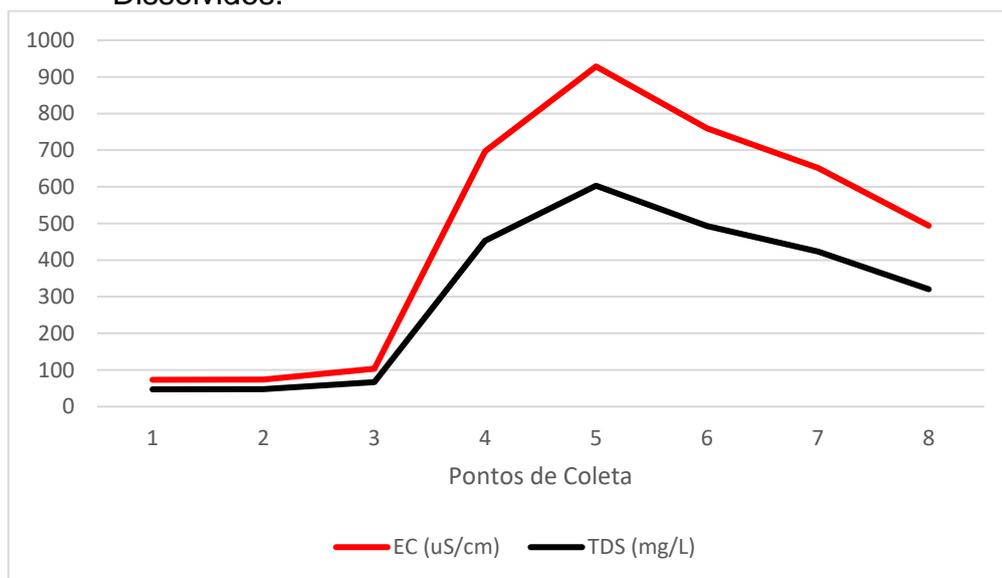
Fonte: Do autor, 2021.

Figura 16: Detalhe do lançamento de esgoto doméstico no Rio Mãe Luzia no centro da cidade.



Fonte: Do autor, 2021.

Gráfico 3: Média por ponto de coleta da Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.



As medidas de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos são equivalentes, sendo que o aumento de uma influencia paralelamente a outra e vice-versa. A média desses dois parâmetros apresenta um aumento drástico do Ponto 03 (66,7 mg/L) para o Ponto 04 (452,4 mg/L) e atingindo o pico no Ponto 05 (603 mg/L), este último, com valor médio acima de 500 mg/L, delimitado na Resolução CONAMA 357 como valor máximo aceitável para águas doce de Classe 1.

Para o Ponto 05, apenas as três primeiras campanhas apresentaram valores inferiores a 500 mg/L, segundo Carvalho e Oliveira (2003), os Sólidos Totais Dissolvidos podem indicar a presença de sais, ácidos minerais e outros contaminantes, que se despejados no curso hídrico podem aumentar a demanda química e bioquímica de oxigênio nas águas, levando à redução do oxigênio dissolvido no meio. Além disso, os sólidos totais dissolvidos podem demonstrar a carga de poluentes lançadas no curso de água.

As médias dos dois parâmetros vão diminuindo nos pontos seguintes, provavelmente pelo fato dos afluentes Rio Ferreira, Rio Pio e Rio Morozini, contribuírem na diluição dos Sólidos Totais, visto que se tratam de rios que não sofrem impacto por mineração.

Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas nos valores de potencial redox e turbidez nas amostras de água, bem como entre seus valores médios.

Num contexto geral, o cruzamento dos dados, gerados pela sonda multiparâmetros, estação meteorológica e revisão bibliográfica, permitiu a identificação de alterações nos parâmetros da qualidade da água observados. O Rio Mãe Luzia deve ser continuamente analisado e amparado por projetos de educação ambiental, especialmente para a população trevisana, buscando a orientação dos cidadãos, tendo em vista que o rio ainda pode ser recuperado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Mendonça (2016), em seu estudo para definir a confiabilidade da sonda multiparâmetros *Aquaread*, conclui que o equipamento é eficiente para uma avaliação rápida e preliminar da qualidade d'água, o que auxilia na gestão e planejamento de cursos hídricos. Essa foi exatamente a justificativa da aquisição da sonda por parte da FUNTREV no ano de 2020. As campanhas quinzenais no rio proporcionaram o monitoramento contínuo de parâmetros básicos, que demonstram onde o rio começa a sofrer impactos, sua saúde em geral e anomalias que podem apontar os locais específicos para uma análise mais detalhada. Assim como, geração de dados para futuros projetos e estudos.

Parr (1996), indica que o monitoramento é um instrumento necessário para avaliar a eficácia de programas de recuperação ambiental, e deve ser projetado para operar por vários anos ou até décadas. Os resultados devem ser interpretados pela comparação com os padrões de qualidade ambiental. O autor considera de fundamental importância, num programa de monitoramento, o controle de qualidade e a validação de dados de campanhas anteriores quando se pretende traçar a evolução da qualidade em um rio ou trecho dele.

Com os resultados obtidos é possível afirmar que a recuperação da área Rio Pio, finalizada em 2020, impactou de maneira positiva os parâmetros físico-químicos do Rio Mãe Luzia e Rio Pio. No período de amostragem, os valores foram melhores do que os amostrados em trabalhos anteriores à recuperação da área, como Cechella (2010) e Brasil (2019). A comparação direta com os parâmetros físico-químicos do ponto anterior demonstra que os valores amostrados apresentam melhora, como a diminuição da Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos.

A área de recuperação Campo Morozini pode estar afetando negativamente os parâmetros analisados, principalmente o pH, o que sugere que as obras de recuperação não cessaram totalmente os passivos da área. Recomenda-se a continuidade do monitoramento para avaliação de variações dos dados neste trecho e, caso confirme-se novas variações, uma análise laboratorial com coleta de água no efluente advindo do Campo Morozini para identificação dos elementos presentes na água.

O aumento de Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica identificados no Rio Mãe Luzia, a partir das mineradoras, preocupam por estarem

acima do que dispõe a legislação. Em algumas campanhas os parâmetros apresentaram valores aceitáveis, enquanto em outras não, esses resultados alternam-se, o que pode indicar impactos pontuais no rio, principalmente em dias de chuva. O fato da carga de Sólidos Totais ser muito superior nos pontos referentes às mineradoras, em dias de chuva, chama atenção. Possivelmente, um fator que ajuda nesta questão são as estradas de acesso às mineradoras e o pátio das empresas são todas estradas de terra, que acabam por receber vários tipos de elementos poluentes, advindos dos pneus ou da carga que acaba caindo dos caminhões que trafegam nesses lugares, esses elementos acabam permanecendo na estrada e com a chuva todo esse material é levado para o rio.

A pavimentação dessas estradas assim como os pátios, conciliados com sistema de drenagem pluvial, sistema de limpeza dos caminhões nas empresas e maior fiscalização de cargas, auxiliaria a limpeza das vias, para que quando houvesse chuva esse material não fosse levado para o rio.

A problemática do esgoto doméstico despejado de forma irregular diretamente no Mãe Luzia ou na rede de drenagem pluvial ainda ocorre em Treviso. Em 2020, a FUNTREV juntamente com a Vigilância Sanitária municipal iniciou um programa de fiscalização em todas as casas no perímetro urbano notificando as residências sem o sistema de fossa, filtro e sumidouro para que entrassem em conformidade com a legislação vigente num prazo de 90 dias. O programa persiste até hoje e várias residências já implantaram o sistema adequado. Entretanto, ainda existem casos de despejo irregular, o poder público deve continuar com a fiscalização tanto nas propriedades consolidadas como nas novas construções, para que essa problemática seja interrompida.

A partir do monitoramento contínuo com um equipamento mais simples, como a sonda utilizada neste trabalho, é possível indicar e analisar pontos de impacto no curso d'água, primeiramente para fiscalização, mas também para que se indique o exato local para uma hipotética pesquisa mais elaborada que analise a presença de possíveis elementos, como metais pesados, por exemplo.

Por fim, o presente trabalho evidenciou que mesmo equipamentos menos sofisticados, acessíveis financeiramente e de fácil manuseio, como a sonda multiparâmetros, são capazes de medir de forma eficiente descritores importantes para que se conheça preliminarmente a qualidade da água em um local. Dessa forma, instituições públicas, mesmo com um baixo investimento, conseguem monitorar esses

parâmetros e realizar o controle e a fiscalização da qualidade da água nos municípios, sem as etapas burocráticas que a terceirização do serviço acaba gerando, garantindo, também, uma maior qualidade de vida para a biodiversidade e para os seres humanos que ali vivem.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, Nadja Zim. **Análise integrada da qualidade das águas da bacia do Rio Araranguá (SC)**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2000.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, João Carlos de. Química analítica básica: os conceitos acido-base e a escala de pH. **Revista Chemkeys**, n. 1, p. 1–6, jan. 2010.
- ARAUJO, Iria Sartor *et al.* Monitoramento da qualidade da água utilizando sonda multiparâmetros no Rio Cubatão (Santa Catarina). *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 8., 2012, Porto Alegre. **Anais [...]**.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.
- BRASIL. **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Criciúma, SC: Ministério Público Federal, 2015.
- CARVALHO, Anésio R. de; OLIVEIRA, Mariá. C. V. **Princípios Básicos de Saneamento do Meio**. 3. ed. São Paulo: Editora SENAC, 2003.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. São Paulo, 2009: 310p.
- FONSECA, Helder S.; SALVADOR, Nemésio N. B. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Bonito em Descalvado-SP. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 179-185, 2005.
- GONÇALVES, Lucas Rubbo. **Vulnerabilidade natural e avaliação de risco de contaminação dos sistemas de aquíferos nas áreas degradadas pela extração de carvão na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Porto Alegre, 2012.
- GRUPO TÉCNICO DE ASSESSORAMENTO - GTA. **12º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais**. [S. L. : S. N.], 2019.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados - Treviso**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/treviso.html>. Acesso em: 04 nov. 2021.

IPAT. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas. **Projeto de Reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas do Campo Morozini (Treviso, SC)**. Criciúma, 2009, 139p. (Relatório Técnico).

KREBS, Antonio Silvio Jornada. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. 2004. 375 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LADWIG, Nilzo I.; DAGOSTIM, Vanessa; BACK, Alvaro J. Análise da paisagem da região carbonífera do Estado de Santa Catarina, Brasil, realizada com imagens de satélite. **Ra'E Ga**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 93-107, fev. 2018.

LOPES, Rosana Peporini; SANTO, Eder Luiz; GALATTO, Sérgio Luciano; Mineração de carvão em Santa Catarina: geologia, geoquímica e impactos ambientais. *In*: MILIOLI Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETE, Vanilde; **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 51-70.

MENDONÇA, Angela Maria. **Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Curso de Engenharia Ambiental, Santa Maria, 2016.

MENEZES, Carlyle T. B. de, *et al.* Percepção de impactos socioambientais e a gestão costeira: Estudo de caso em uma comunidade de pescadores no litoral sul de Santa Catarina, Brasil. **RG&AS**, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 457-481, jul./set. 2019.

NOZAKI, Cássia T. *et al.* Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e pH nos rios e córregos urbanos. **Atas de Saúde Ambiental – ASA**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 29–44, jan./abr. 2014.

PINTO, André L.; OLIVEIRA, Gustavo H. de; PEREIRA, Gabrielle A. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da Bacia do Córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, Campo Mourão, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010.

PIRATOBA, Alba R. A. *et al.* Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 3, p. 435-456, maio 2017.

RAVAZZOLI, Cláudia. A problemática ambiental do carvão em Santa Catarina: sua evolução até os termos de ajustamento de conduta vigente entre os anos de 2005 e 2010. **Geografia Em Questão**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 179-201, 2013.

RIGOTTI, Nilo. Recuperação de Áreas Degradadas: Estudo de Caso *In*: TEIXEIRA, Elba Calesso *et al.* **Meio ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM, 2002. 497 p.

RODRIGUES, Renata Coelho; TEIXEIRA, Renato Augusto; CAMPOS, Luiz Alexandre. Comunidade de insetos bentônicos em rio impactado por mineração de

carvão em Treviso, Santa Catarina. **Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 13, n. 1, p. 1-14, jan. 2007.

SAMPAIO, Silvio Cesar *et al.* Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 557–562, 2007.

SANTO, Eder L.; LOPES, Rosana P. Mapeamento geológico-geotécnico como subsídio para diagnóstico ambiental de áreas degradadas por atividades de mineração de carvão. **Revista de tecnologia e ambiente**, Criciúma, v. 10, n 1, p 29-40, jan./jun. 2004.

SEBRAE/SC. **Caderno de Desenvolvimento de Santa Catarina – Treviso**. 2019. 80p. (Relatório Técnico).

SOARES, Paulo S. M.; SANTOS, Maria D. C. dos; POSSA, Mario V. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300 p.

SOUZA, Eduardo Ribeiro de. **Noções sobre qualidade da água**. Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2001.

SOUZA, Maria Gisele Ronconi de *et al.* Correlação espaço-temporal do monitoramento da cobertura do solo em áreas mineradas por carvão em Santa Catarina. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 3., 2011, Gramado, RS. **Anais [...]**.

TUNDISI, José G.; TUNDISI, Takako M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento e esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WWF. **Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades**. Brasília: [s. n.], 2014.

ZHANG, Zhao *et al.* Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts: a case study of the xiangjiang river, China. **Journal Of Environmental Management**, [S. L.], v. 91, n. 12, p. 2483-2490, dez. 2010.