

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CAMPUS FERNANDÓPOLIS**

ELISE BARONI RAMOS

**IMPACTO DO DESASSOREAMENTO NOS RECURSOS HÍDRICOS
DE RESERVATÓRIO DE IMPORTÂNCIA SOCIOTURÍSTICA EM
FERNANDÓPOLIS-SP**

**DESILTING IMPACT ON THE WATER RESOURCES OF AN
IMPORTANT SOCIOTOURLISTIC RESERVOIR IN
FERNANDÓPOLIS-SP**

Fernandópolis – SP

2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ELISE BARONI RAMOS

IMPACTO DO DESASSOREAMENTO NOS RECURSOS HÍDRICOS DE RESERVATÓRIO DE IMPORTÂNCIA SOCIOTURÍSTICA EM FERNANDÓPOLIS-SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela
Orientador

Prof. Dr. Cleber Fernando Menegasso
Mansano
Coorientador

Fernandópolis – SP
2022

Ramos, Elise Baroni

R141i Impacto do desassoreamento nos recursos hídricos de reservatório de importância socioturística em Fernandópolis-SP. / Elise Baroni Ramos – Fernandópolis: Universidade Brasil, 2023.

80f.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela.

Coorientador: Prof. Dr. Cleber Fernando Menegasso Mansano.

1. Recursos Hídricos. 2. Assoreamento. 3. Barragens.
4. Obras Hidráulicas 5. Hidrossedimentologia.

I.Título.

CDD 551.48

TERMO DE APROVAÇÃO



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

Termo de aprovação

TERMO DE APROVAÇÃO

ELISE BARONI RAMOS

“IMPACTO DO DESASSOREAMENTO NOS RECURSOS HÍDRICOS DE RESERVATÓRIO DE IMPORTÂNCIA SOCIOTURISTICA EM FERNANDÓPOLIS - SP”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais** da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof(a). Dr.(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente - Orientador)

Prof(a). Dr.(a) Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro (Universidade Brasil)

Prof(a). Dr.(a) Mario Luciano Siconeli (Centro de altos estudos de segurança da Polícia Militar do estado de São Paulo)

Fernandópolis, 19 de dezembro de 2022
Presidente da Banca Prof.(a) Dr.(a) Luiz Sergio Vanzela

**FOLHA DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DO TEXTO NA PÁGINA
UNIVERSIDADE BRASIL E CATÁLOGO DE TESES E DISSERTAÇÕES DA
CAPES E REPRODUÇÃO DO TRABALHO**



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

Termo de Autorização

Termo de Autorização

**Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página
WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da
CAPES**

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

**Título do Trabalho: "IMPACTO DO DESASSOREAMENTO NOS RECURSOS
HÍDRICOS DE RESERVATÓRIO DE IMPORTÂNCIA SOCIOTURISTICA EM
FERNANDÓPOLIS - SP"**

Autor(es):

Discente: Elise Baroni Ramos

Assinatura:  _____

Orientador: Luiz Sergio Vanzela

Assinatura:  _____

Data: 19/12/2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela pela confiança, incentivo, amizade e todos os conhecimentos compartilhados. O agradeço também pela oportunidade de realizar Estágio de Docência em sua disciplina e pela paciência despendida na concepção deste trabalho.

Agradeço à Prefeitura Municipal de Fernandópolis pelo apoio à minha formação e desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço à Universidade Brasil, pelo auxílio acadêmico concedido e por disponibilizar parte da infraestrutura de laboratório e materiais para esta pesquisa.

Agradeço ao Prof. Dr. Cleber Fernando Menegasso Mansano pelo empréstimo de parte dos equipamentos utilizados na pesquisa deste trabalho.

Agradeço à Profa. Dra. Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro pelo reforço e contribuições realizadas para essa dissertação.

Agradeço ao Heidson pela disponibilidade e apoio para os levantamentos realizados com drone.

Agradeço à Noelen, Beatriz e Arieli pela parceria e colaboração nos trabalhos de campo desta pesquisa.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais da Universidade Brasil pela disposição manifestada.

Agradeço a todos que me auxiliaram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

*“A adversidade desperta em nós capacidades que, em circunstâncias favoráveis,
teriam ficado adormecidas.”*
(HORÁCIO, 65 a.C. - 8 a.C.)

RESUMO

O desassoreamento é um trabalho importante na recuperação de reservatórios de água, no entanto, mesmo que temporário, perturba o ambiente e pode se tornar um processo de potencial poluição aos recursos hídricos. Objetivou-se avaliar o impacto da operação de desassoreamento por escavação em reservatório de água de importância socioturística em Fernandópolis-SP. Para isso, foram monitoradas variáveis hídricas qualitativas e realizado o acompanhamento da evolução do serviço. O delineamento experimental foi integralmente casualizado, com esquema fatorial 2 x 3 x 4, em que os fatores principais são constituídos dos períodos de escoamento superficial (com e sem escoamento), os secundários pelos períodos de escavação (antes, durante e após a escavação) e o terciário pelos pontos de monitoramento (três pontos à montante e um ponto à jusante, em relação ao reservatório). Foram coletadas 100 amostras de água, em um total de 25 campanhas de amostragens quinzenais/mensais e realizados 13 aerolevantamentos com drone, entre julho de 2020 e março de 2022. Para avaliar as variáveis hídricas qualitativas, foi realizada análise de variância dos fatores analisados, seguida de teste de comparação de médias. Para avaliar o efeito do avanço da escavação, realizou-se o teste de Correlação Cruzada de Pearson, seguido de análise de regressão. Foi observado que a dinâmica da remoção dos sedimentos apresentou dois períodos distintos, cuja instabilidade do terreno, associado aos volumes de chuva precipitados, reduziu o rendimento operacional em 59,6%. Durante o trabalho o desassoreamento, ocorreu impacto negativo na concentração de amônio e amônia, incrementando as médias em 154,1% e 151,9%, respectivamente. A dinâmica da escavação apresentou correlação somente com a condutividade elétrica da água, resultando em expectativa de incremento médio de $1 \mu\text{Scm}^{-1}$ para cada 175 m^3 removidos. Considerando os resultados obtidos e a importância histórica, paisagística, cultural e turística desse reservatório de água, a operação de desassoreamento foi adequada. No entanto, é necessário realizar trabalhos de restauração e manutenção na bacia de contribuição do reservatório para minimizar problemas futuros com assoreamento.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Assoreamento. Barragens. Obras hidráulicas. Hidrossedimentologia.

ABSTRACT

Desilting is an important work in reservoir's recovery, however, even if temporary, it disturbs the environment and can become a process of potential pollution in water resources. The objective was to evaluate the silt excavation operation impact in an important sociotouristic reservoir in Fernandópolis-SP. For this purpose, qualitative water variables were monitored, and the evolution of the service was accompanied. Completely randomized experimental design in 2 x 3 x 4 factorial scheme was used, and the main effects were runoff periods (with and without runoff), the level of second were excavation periods (before, during and after) and the level of third were monitoring points (points upstream E1, E2 and E3 and point S downstream, in relation to the reservoir). 100 water samples were collected, in a total of 25 biweekly/monthly sampling campaigns, and 13 aerial drone surveys were carried out between July 2020 and March 2022. To evaluate the qualitative water variables, analysis of variance was performed for the analyzed effects, followed by the mean comparison test. To evaluate the excavation progress effect, the Pearson correlation test was performed, followed by regression analysis. It was observed that the dynamics of sediment removal presented two distinct periods, which terrain instability, associated with precipitated rainfall, reduced the operational yield by 59.6%. During the desilting work, there was negative impact in the ammonium and ammonia concentration, increasing the averages by 154.1% and 151.9%, respectively. The excavation dynamics correlated only with water conductivity, resulting in an expected average increment of $1 \mu\text{Scm}^{-1}$ for every 175 m^3 removed. Considering those results and the reservoir historical, landscape, cultural and tourist importance, the desilting operation was adequate. However, it is necessary to carry out restoration and maintenance works in the reservoir contribution basin to minimize future problems with siltation.

Keywords: Water resources. Silting. Dams. Hydraulic works. Hydro Sedimentology.

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

O desassoreamento de um reservatório de água, é o processo de retirada de sedimentos de seu interior e suas laterais, promovendo o aumento em profundidade, área de espelho d'água e, conseqüentemente, no volume de armazenamento de água. Esse trabalho avaliou o impacto da operação de desassoreamento por escavação em reservatório de água de importância socioturística em Fernandópolis/SP. Para isso, foram monitoradas variáveis de qualidade de água em pontos próximos à represa, e realizado o acompanhamento com imagens de drone nos períodos antes, durante e após o desassoreamento. Com os resultados obtidos, foi observado que a dinâmica da remoção dos sedimentos apresentou dois períodos distintos, cuja necessidade de construção de acessos para os maquinários, pela instabilidade do terreno, associado à quantidade de chuvas, reduziu o rendimento operacional dos trabalhos de desassoreamento. A obra impactou a qualidade de água somente na concentração de amônio e amônia. Considerando os resultados obtidos e a importância histórica, paisagística, cultural e turística desse reservatório de água, a operação de desassoreamento foi adequada. No entanto, é necessário realizar trabalhos de restauração e manutenção no entorno do reservatório para minimizar problemas futuros com assoreamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do reservatório de água estudado em Fernandópolis (SP)...	31
Figura 2 - Tipos de solos encontrado na região do reservatório de água em Fernandópolis (SP)	32
Figura 3 - Sub-bacias que compõe os recursos hídricos superficiais do município de Fernandópolis (SP)	33
Figura 4 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego da Aldeia, em que.	34
Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do reservatório ..	35
Figura 6 - Escavadeira e caminhão na execução do serviço de escavação	35
Figura 7 - Localização dos pontos de amostragem e delimitação da área escavada	36
Figura 8 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E1.....	37
Figura 9 - Vista geral do ponto de monitoramento E1	37
Figura 10 - Vista geral do ponto de monitoramento E1	38
Figura 11 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E2.....	38
Figura 12 - Vista geral do ponto de monitoramento E2	39
Figura 13 - Vista geral do ponto de monitoramento E2	39
Figura 14 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E3.....	40
Figura 15 - Vista geral do ponto de monitoramento E3	40
Figura 16 - Bacia de contribuição ponto de monitoramento S.....	41
Figura 17 - Vista geral do ponto de monitoramento S	41
Figura 18 - Vista geral do ponto de monitoramento S	42
Figura 19 - Coleta das amostras <i>in situ</i> (a), análise com o fotômetro multiparâmetro (b), utilização dos reagentes de NH_3 e NH_4^+ (c) e análise com o medidor multiparâmetro (d).....	45
Figura 20 - Garrafas utilizadas para coletar as amostras de água (a) e coleta das amostras de CT e <i>E. coli</i> levadas para o laboratório (b)	46
Figura 21 - Balança (a) e filtro (b) utilizados para análise da série de sólidos e análise com condutivímetro no laboratório (c).....	47
Figura 22 - Micro estufa microbiológica (a), contagem nas cartelas <i>Colipaper</i> [®] (b) ..	47
Figura 23 - Levantamento com drone	48
Figura 24 - Exemplos dos ortomosaicos gerados durante a obra	49
Figura 25 - Evolução da área de espelho d'água do reservatório com a obra de desassoreamento, sendo EA, o espelho d'água	51

Figura 26 - Curva EA (espelho d'água) x V (volume escavado) do serviço de desassoreamento do reservatório.....	52
Figura 27 - Médias de temperatura da água (°C), em função do fator P _{Esc}	53
Figura 28 - Médias da concentração de sólidos totais (mgL ⁻¹), em função do fator P _o (a), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (b) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (c).....	54
Figura 29 - Médias da concentração de sólidos dissolvidos (mgL ⁻¹), em função do fator P _{Des} (a), do fator P _o (b), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (c) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (d).....	56
Figura 30 - Médias de potencial hidrogeniônico, em função do fator P _{Des} (a), do fator P _o (b) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (c).....	58
Figura 31 - Médias da concentração de oxigênio dissolvido (mgL ⁻¹), em função do fator P _o (a), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (b) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (c).....	60
Figura 32 - Médias da concentração de condutividade elétrica (μScm ⁻¹), em função do fator P _{Des} (a), do fator P _o (b), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (c) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (d).....	62
Figura 33 - Médias da concentração de amônio (mgL ⁻¹), em função do fator P _o (a), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (b) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (c).....	63
Figura 34 - Médias da concentração de amônia (mgL ⁻¹), em função do fator P _o (a), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (b) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (c).....	65
Figura 35 - Médias da concentração de coliformes totais (UFC/100 mL), em função do fator P _{Des} (a), do fator P _o (b), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (c) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (d).....	67
Figura 36 - Médias da concentração de <i>E. coli</i> (UFC/100 mL), em função do fator P _{Des} (a), do fator P _o (b), da interação entre os fatores P _{Esc} xP _o (c) e da interação entre os fatores P _{Des} xP _o (d).....	69
Figura 37 - Regressão linear de ΔCE (variação de condutividade elétrica), em função de ΔV (variação de volume de sedimentos removidos).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos corpos de água doce superficiais, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357	24
Tabela 2 - Valores de número da curva (CN _{II}) atribuídos em função do uso e ocupação do solo	43
Tabela 3 - Detalhamento da forma e método de análises das variáveis hídricas analisadas em laboratório	44
Tabela 4 - Detalhe das campanhas de amostragens	49
Tabela 5 - Resultado da análise de variância da média de temperatura da água (°C), em função dos fatores avaliados.....	53
Tabela 6 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de sólidos totais, em função dos fatores avaliados.....	54
Tabela 7 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de sólidos dissolvidos, em função dos fatores avaliados.....	55
Tabela 8 - Resultado da análise de variância da concentração média de sólidos suspensos, em função dos fatores avaliados.....	57
Tabela 9 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias do potencial hidrogeniônico, em função dos fatores avaliados	58
Tabela 10 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de oxigênio dissolvido, em função dos fatores avaliados	59
Tabela 11 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de condutividade elétrica, em função dos fatores avaliados.....	61
Tabela 12 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de amônio, em função dos fatores avaliados.....	63
Tabela 13 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de amônia, em função dos fatores avaliados.....	64
Tabela 14 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de coliformes totais, em função dos fatores avaliados.....	66
Tabela 15 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de <i>E. coli</i> , em função dos fatores avaliados.....	68
Tabela 16 - Resultado da correlação cruzada, ao nível de 5% de significância.....	70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Áreas de Preservação Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>et al.</i>	"entre outros", tradução livre do latim usada para citar trabalhos escritos por mais de três autores
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i>
RGB	Sistema de cores aditivas (<i>Red, Green and Blue</i>)
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SP	São Paulo
UFC	Unidade Formadora de Colônias
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	percentual
μS	micro Siemens
μm	micrómetro
CE	condutividade elétrica
cm	centímetro
CN	número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo
CN _{II}	número da curva em função do uso e ocupação do solo
CT	coliformes totais
CV	coeficiente de variação
ES	escoamento superficial
h	horas
ha	hectares
km	quilômetros
km ²	quilômetros quadrados
L	litro
m	metros
m ³	metros cúbicos
mg	miligramas
mL	mililitros
mm	milímetros
N	nitrogênio
NH ₃	amônia
NH ₄ ⁺	amônio
°C	graus Celsius
OD	oxigênio dissolvido
P	precipitação acumulada em determinado intervalo de tempo
p	probabilidade de significância
P5D	precipitação acumulada dos últimos 5 dias
PDes	períodos do desassoreamento
PEsc	períodos de escoamento
pH	potencial hidrogeniônico

Po	pontos
r^2	coeficiente de determinação
S	capacidade máxima de armazenamento do solo
SD	sólidos dissolvidos
SS	sólidos suspensos
ST	sólidos totais
T	temperatura da água
ΔV	variação de volume de sedimentos removidos
ΔEA	variação da área de espelho d'água
ΔH	variação da altura média de escavação
ΔCE	variação da condutividade elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	21
3.2 ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS	22
3.3 QUALIDADE DE ÁGUA.....	23
3.3.1 Variáveis físicas	24
3.3.1.1 Temperatura da água.....	24
3.3.1.2 Sólidos.....	25
3.3.2 Variáveis químicas	26
3.3.2.1 Potencial hidrogeniônico	26
3.3.2.2 Oxigênio dissolvido.....	26
3.3.2.3 Condutividade elétrica.....	27
3.3.2.4 Amônia total	27
3.3.3 Variáveis biológicas	28
3.3.3.1 Coliformes totais.....	28
3.3.3.2 Bactérias termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>)	28
3.4 RECUPERAÇÃO/DESASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS	29
3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS	31
4.2 DESCRIÇÃO DO SERVIÇO DO DESASSOREAMENTO.....	35
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	36
4.4 PONTOS DE MONITORAMENTO	36
4.4.1 Ponto E1.....	37
4.4.2 Ponto E2.....	38
4.4.3 Ponto E3.....	39
4.4.4 Ponto S.....	41
4.5 PERÍODOS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	42
4.6 PERÍODOS DE ESCAVAÇÃO	44
4.7 VARIÁVEIS ANALISADAS	44

4.7.1. Variáveis hídricas	44
4.7.2. Variáveis do desassoreamento	48
4.8 AMOSTRAGENS	48
4.9 METODOLOGIA ESTATÍSTICA.....	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 AVANÇO DO DESSASSOREAMENTO	51
5.2 VARIÁVEIS FÍSICAS.....	52
5.2.1 Temperatura da água.....	52
5.2.2 Sólidos totais	53
5.2.3 Sólidos dissolvidos	55
5.2.4 Sólidos suspensos	57
5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS.....	57
5.3.1 Potencial hidrogeniônico	57
5.3.2 Oxigênio dissolvido	59
5.3.3 Condutividade elétrica.....	61
5.3.4 Amônia total	62
5.2.4.1 Amônio	62
5.2.4.2 Amônia	64
5.4 VARIÁVEIS BIOLÓGICAS	66
5.4.1 Coliformes totais.....	66
5.4.2 Bactérias termotolerantes (<i>E. coli</i>)	68
5.5 MODELAGEM MATEMÁTICA ESCAVAÇÃO-VARIÁVEIS HÍDRICAS	70
6 CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

O uso inadequado do solo traz consequências prejudiciais aos cursos d'água, inclusive nos reservatórios denominados de represas. Isso ocorre devido aos sedimentos carregados por erosão que terminam no leito dos cursos d'água e, por sua vez, são transportados e retidos nos reservatórios, onde a velocidade do escoamento é muito pequena ou praticamente nula (CARVALHO, 2008). Este processo é denominado de assoreamento e pode interferir na qualidade de água e no volume de reservação de água das represas.

Enquanto represas se encham de sedimentos gradualmente com o passar do tempo, é preciso pensar em estratégias para reduzir ou remover a deposição desse material. Para isso, há uma variedade de técnicas de desassoreamento que prejudicam o mínimo possível do funcionamento do reservatório (LEE; LAI; SUMI, 2022).

O desassoreamento de um reservatório de água, constitui no processo de retirada do material sedimentado no leito e/ou das laterais, promovendo tanto o aumento em profundidade como em área de espelho d'água. Este trabalho normalmente é realizado com a combinação de dragas (para a sucção de sedimentos do leito e das margens), escavadeiras (para o alargamento das laterais) e caminhões (para o transporte de sedimentos aos bota-foras) (GIUDICE *et al.*, 2018).

O assoreamento de uma represa, representa um modo natural de estabilização do ambiente modificado, apesar de fazer com que o reservatório perca sua função, qualquer que seja. Dessa forma, o processo de desassoreamento perturba o local mais uma vez, com a movimentação do material sedimentado e pode influenciar na qualidade hídrica (VANZELA *et al.*, 2022).

No município de Fernandópolis, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, existe um reservatório de água com finalidades paisagísticas e recreativas, situado no Córrego da Aldeia. Principalmente em função da crescente urbanização em sua bacia de drenagem, esse reservatório sofreu um processo de assoreamento, reduzindo seu espelho d'água em 81,9% de 1979 a 2020 (BUOSI, 2021).

De acordo com estudos realizados por Vanzela *et al.* (2014), no ano de 2012 o percentual de retenção de sedimentos na represa variou de 53,9 a 94,5%, que

associada a uma alta produção específica de sedimentos, estimaram o seu completo assoreamento em no máximo 57 anos.

Diante dessa realidade, a Prefeitura Municipal de Fernandópolis iniciou em dezembro de 2020 o trabalho de desassoreamento de 4,26 ha de espelho d'água (CETESB, 2020a). A obra será constituída de duas etapas: escavação e dragagem.

A etapa de escavação foi concluída em dezembro de 2021 e com isso foi possível acompanhar a qualidade de água do corpo hídrico antes, durante e após a escavação, com a finalidade de avaliar o real impacto deste processo temporário sobre variáveis hídricas qualitativas.

Considerando que pesquisas e estudos sobre o assunto, especialmente em pequenas represas, são bem escassos na literatura, esse trabalho se justifica pela importância na produção de referências sobre os impactos do desassoreamento sobre esses tipos de reservatório.

2 OBJETIVOS

Avaliar o impacto da operação de desassoreamento por escavação em reservatório de água de importância socioturística em Fernandópolis-SP.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a evolução de espelho d'água de reservatório por aerolevanteamento;
- Quantificar a dinâmica da remoção de sedimentos do leito de reservatório por escavação;
- Avaliar a concentração de sedimentos antes, durante e após o término da escavação para o desassoreamento;
- Avaliar a qualidade de água antes, durante e após o término da escavação para o desassoreamento;
- Estabelecer modelagem matemática das variáveis hídricas com a escavação.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Grande parte das áreas urbanas cresceu rapidamente, trazendo impactos negativos sobre os rios e córregos. Os cursos d'água, são um elemento determinante da paisagem urbana, uma vez que muitos povoados surgiram às suas margens. Porém, com o avanço da organização das cidades, acabaram sendo afastados por intervenções como canalizações, retificações, entre outros (SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

Os reservatórios de água são um dos meios mais eficazes para o ser humano explorar os recursos hídricos. Trata-se de uma infraestrutura importante para a subsistência das pessoas, garantindo a segurança de suas vidas e propriedades e o desenvolvimento sustentável do local (JIANG *et al.*, 2022).

Antigamente, os reservatórios de água eram construídos com objetivo de abastecimento de água ou irrigação, porém, à medida que as civilizações se desenvolveram, houve também a necessidade de utilizá-los para controle de enchentes, navegação, geração de energia e controle de qualidade da água e de sedimentos. Segundo a *International Commission on Large Dams* (ICOLD), em abril de 2020, existiam 58.713 grandes barragens (com mais de 15 m de altura ou com mais de 5 m de altura e capacidade superior a 3 milhões de m³) no mundo todo (ICOLD, 2020).

Existem diversas maneiras de poluir os recursos hídricos, seja de origem natural ou como resultado das atividades humanas. Basicamente, são três os cenários de poluição: 1º estágio: poluição patogênica, 2º estágio: poluição total e 3º estágio: poluição química, e cada uma delas é caracterizada pelo estágio de desenvolvimento social e industrial do local (BRASIL, 2014).

De acordo com Tundisi e Tundisi (2008), um reservatório construído ao longo de um rio afeta as características da água, a qual pode ser impactada pela posição da barragem em relação ao curso d'água, assim como a altura do barramento. Mudanças no ambiente natural são, portanto, uma consequência inevitável da construção de reservatórios e da sua operação (CHEN; TSAI, 2017).

Ao mesmo tempo, a média anual global de perda de capacidade de armazenamento dos reservatórios de água varia de 0,5% a 1% por ano, devido ao assoreamento. Isso pode prejudicar o abastecimento desse recurso para diversos

usos, além de impactar na qualidade das águas reservadas e no equilíbrio de ecossistemas. Dessa forma, a preservação do armazenamento dos reservatórios existentes é crucial para a sustentabilidade dos recursos hídricos no mundo todo (WISSER *et al.*, 2013).

Com base nas ideias iniciais aqui apresentadas, supõe-se que seja necessário realizar ações de revitalização de barragens, a fim de melhorar a qualidade ambiental dos cursos d'água, assim como adotar medidas voltadas a remediar o problema de assoreamento dos reservatórios de água.

3.2 ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Um reservatório represado por uma barragem interrompe o transporte de sedimentos através de um curso d'água, trazendo consequências tal qual o aprisionamento de sedimentos no reservatório. Esses sedimentos acumulados causam problemas como a redução do espaço de armazenamento do reservatório, limitando o tempo de vida da represa (LEE; LAI; SUMI, 2022).

O transporte de sedimentos dentro reservatórios é formado pelos processos de erosão, envolvendo transporte, deposição e compactação das partículas sólidas. A deposição de sedimentos no leito de reservatórios não possui distribuição uniforme, podendo atingir a montante e a jusante do barramento (ABREU, 2019).

Essa sedimentação é consequência dos usos da bacia hidrográfica, sendo afetada pelo clima da bacia e condições do entorno do reservatório. Sendo assim, o material que entra na represa é consequência das características e condições do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica e de sua geoquímica (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Com o aumento de sedimentos nos cursos de água, os reservatórios tendem a assorear em um tempo menor do qual foi estimado (ZARPELON; AZEVEDO, 2018). O assoreamento de represas sempre foi um desafio para os proprietários de barragens (SCHLEISS *et al.*, 2016).

As técnicas de gerenciamento de sedimentos nos reservatórios de água podem ser classificadas em: (a) reduzir a produção de sedimentos na bacia de contribuição, (b) redirecionar os fluxos carregados com mais sedimentos ao redor ou através do reservatório e (c) remoção de sedimentos após a deposição, através de técnicas de desassoreamento. A quarta categoria (d) consiste em estratégias que se

adaptam à perda de capacidade, sem abordar o gerenciamento de sedimentos (MORRIS, 2020).

Silva *et al.* (2018), salientam que as técnicas de remoção de sedimentos, precisam ser analisadas também pelo ponto de vista da qualidade de água, e não somente pelo aspecto hidrodinâmico e do ganho de capacidade hídrica, uma vez que há prováveis impactos causados pela alteração no leito. Os autores destacam ainda a importância da modelagem hidrodinâmica e da qualidade de água em cursos d'água que passam pela área urbana para as tomadas de decisão e garantir os múltiplos usos da água.

Portanto, é necessário conhecer a qualidade de água para aprimorar o prognóstico de contaminação dos cursos d'água em bacias hidrográficas não monitoradas e para fornecer diretrizes para o planejamento do uso e ocupação do solo da bacia (SHI *et al.*, 2017).

3.3 QUALIDADE DE ÁGUA

A qualidade da água pode ser caracterizada através de um conjunto de definições encontradas no ambiente aquático compreendendo concentração e especificação física de substâncias orgânicas e inorgânicas e composição, diversidade e estado da biota encontrada. Essas definições sofrem variações devido a fatores externos e internos do ecossistema aquático (CHAPMAN, 1996).

Dessa forma, a qualidade da água é utilizada para especificar as condições do ambiente aquático e para avaliar o nível de conservação, degradação e poluição das águas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Determinar a qualidade da água é importante para realizar a caracterização dos efeitos de uma certa atividade poluidora, assim como definir o uso da água de acordo com o estabelecido (VON SPERLING, 2014).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu por meio da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, a classificação das águas e seus respectivos padrões de qualidade. Sendo assim, as águas doces superficiais se dividem em cinco classes, de acordo com a qualidade imposta por seus usos preponderantes (Tabela 1), que levam em consideração uma série de definições baseadas na aptidão natural dos corpos hídricos (BRASIL, 2005).

Tabela 1 - Classificação dos corpos de água doce superficiais, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357

Classificação	Usos
Classe especial	Abastecimento doméstico, com desinfecção, preservação das comunidades e ambientes aquáticos
Classe 1	Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário e irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas
Classe 2	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação plantas frutíferas e hortaliças, aquicultura e pesca
Classe 3	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca, recreação de contato secundário e dessedentação animal
Classe 4	Navegação e harmonia paisagística

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

Com isso, para se estabelecer a caracterização da qualidade de água em corpos hídricos são necessários a definição, determinação e interpretação dos parâmetros físico-químico-biológicos que afetam de alguma maneira o seu uso preponderante previsto. De acordo com Nogueira (2020), a escolha dos parâmetros de interesse leva em consideração os objetivos do estudo, os usos previstos para o corpo d'água, as características do uso e ocupação do solo do entorno e a capacidade laboratorial e recursos disponíveis. Sendo assim, os parâmetros determinados e utilizados neste trabalho, serão discutidos a seguir.

3.3.1 Variáveis físicas

3.3.1.1 Temperatura da água

Os corpos d'água passam por variações de temperatura juntamente com as oscilações climáticas. Dessa forma, a temperatura das águas superficiais é influenciada pela latitude, altitude, estação do ano, hora do dia, circulação de ar, cobertura de nuvens, vazão e profundidade da lâmina d'água. Com isso, a temperatura afeta vários outros parâmetros em corpos d'água (CHAPMAN, 1996).

A temperatura da água pode ser alterada pela transferência de calor por radiação, condução e convecção. O aumento da temperatura da água traz consequências como ampliação na transferência de gases, crescimento da taxa das reações físicas, químicas e biológicas e diminuição na solubilidade dos gases (VON SPERLING, 2014).

Um dos impactos negativos na implantação de reservatórios é a redução da temperatura da água, podendo influenciar a biota do local (TUNDISI; TUNDISI, 2008). De acordo com Hordones (2022), a temperatura é um fator sensível para organismos aquáticos, podendo interferir no crescimento, reprodução, metabolismo e alimentação desse ecossistema.

3.3.1.2 Sólidos

Sendo um fator relevante à qualidade de água para todas as substâncias filtráveis orgânicas e inorgânicas, os sólidos totais podem originar-se de lixiviação, atividades agrícolas, descarte de efluentes e outros (HORDONES, 2022).

Segundo Saito (2020), os sólidos encontrados na água, sofrem interferência também da área de drenagem contribuinte do reservatório e são transportados através de canais fluviais

De modo geral, poluentes de água contribuem para a quantidade de sólidos encontrada, que podem ser classificados pelas suas aspectos físicos e químicos (AMÂNCIO *et al.*, 2018).

A presença de sólidos na água pode causar danos na vida aquática, uma vez que a sedimentação nos leitos dos rios afeta os organismos que fornecem alimentos. Além disso, os sólidos são capazes de promover decomposição anaeróbia, através da retenção de bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios (CETESB, 2020b).

Os sólidos dissolvidos possuem partículas com diâmetro de até 10^{-3} μm e que mesmo após o processo de filtração, continuam em solução (BRASIL, 2014).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2016), define como sólidos suspensos aqueles que são obtidos através da quantidade de pequenas partículas sólidas que ficam em suspensão na água, podendo ser orgânicas ou inorgânicas.

A quantidade de material em suspensão transportado pelos rios depende do grau de desmatamento ou da cobertura vegetal do entorno. Reservatórios construídos para diferentes usos causam impactos, pois alteram os fluxos e o transporte de sedimentos dos cursos d'água (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

3.3.2 Variáveis químicas

3.3.2.1 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) é o parâmetro utilizado para identificar se a água possui uma reação ácida ou alcalina. Caso o valor encontrado seja menor que 7,0, água é considerada ácida, podendo ser ligeiramente ácida (6,5) ou muito ácida (4,0). Águas com pH 7,0 são consideradas neutras e águas classificadas com pH acima de 7,0 são alcalinas, podendo ser ligeiramente alcalina (7,5) ou muito alcalina (>11,0) (KUBITZA, 2017a).

Sendo constituído pelos sólidos e gases dissolvidos, o potencial hidrogeniônico pode se originar naturalmente por dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e fotossíntese ou pode derivar de ações humanas, com o lançamento de efluentes (VON SPERLING, 2014).

O valor do pH contribui para o nível de solubilidade de substâncias na água e determina o grau de toxicidade de vários elementos, uma vez que atua na forma de distribuição de vários compostos químicos, podendo ser livre ou ionizada (BRASIL, 2014). Portanto, a alteração desse parâmetro, pode prejudicar o bem-estar geral, a saúde e o desempenho dos organismos aquáticos.

3.3.2.2 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) presente na água depende de fatores como a pressão atmosférica (altitude) e a temperatura do meio. Em águas mais frias, a solubilidade do oxigênio é maior, enquanto que em maiores altitudes, onde a pressão atmosférica é mais baixa, o OD possui menor capacidade de se dissolver (CETESB, 2022a).

Trata-se de um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático. De acordo com Von Sperling (2014), o principal resultado que a poluição por matéria orgânica causa em um curso d'água é a redução da concentração de oxigênio dissolvido.

O monitoramento de OD nos corpos hídricos é essencial, uma vez que possui um papel importante na manutenção da vida na água, além de ser utilizado para indicar o efeito causado por poluentes sobre o ambiente aquático (MENDES *et al.*, 2021).

Logo, o oxigênio dissolvido é a principal variável para manter os organismos vivos, sendo que no geral, é necessário níveis acima de $4,5 \text{ mgL}^{-1}$ desempenho apropriado dos peixes (KUBITZA, 2017b).

3.3.2.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) corresponde à capacidade de passagem de corrente elétrica, conforme as substâncias dissolvidas presentes na água. Sendo assim, se a ação eletrolítica for baixa, ou seja, se a concentração iônica da solução for reduzida, conseqüentemente a capacidade de conduzir eletricidade é pequena (BRASIL, 2014).

A condutividade também permite indicar as modificações na composição da água, principalmente na sua concentração mineral, porém não especifica o quanto, nem quais íons estão dissolvidos. Altos valores de concentração de CE podem indicar características corrosivas da água e, conforme mais sólidos dissolvidos são incorporados, os valores de CE aumentam (CETESB, 2022b).

Montovani (2021) destaca, que níveis elevados de decomposição da matéria são caracterizados por concentração alta de condutividade elétrica. Ao passo que valores mais baixos de condutividade, se relacionam com baixa decomposição e concentração de íons cloreto, produção primária de fitoplâncton abundante e processo de autodepuração dos cursos d'água.

3.3.2.4 Amônia total

A amônia é um composto nitrogenado que se concentra na água e é capaz de prejudicar a saúde e sobrevivência de peixes e outros organismos aquáticos. Essa substância pode se encontrar em forma de um íon NH_4^+ (amônio), sendo pouco tóxica ou em forma de um gás NH_3 (amônia), sendo muito tóxica (KUBITZA, 2017b) e os dois juntos, formam a amônia total. É por meio do valor de pH da água que se define a proporção de NH_3 e NH_4^+ da amônia total.

Atividades antropogênicas, envolvendo aplicação intensiva de fertilizantes e descarte de dejetos animais, são as principais fontes de contaminação por nitrogênio (N). Nas fezes de animais e nas águas residuais, o N é encontrado principalmente como NH_4^+ (ABU *et al.*, 2022).

Sendo assim, os cursos d'água são atingidos gradativamente por altas concentrações de nitrogênio através de efluentes e da atmosfera, e por isso são considerados os principais dissipadores naturais de amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+) (CHEN *et al.*, 2021).

Portanto, o íon amônio (NH_4^+) é uma forma reduzida do nitrogênio, sendo encontrado em estado de anaerobiose e é utilizado como indicador de lançamento de efluentes de carga orgânica alta (BRASIL, 2014). E a amônia (NH_3), é a forma não ionizada do nitrogênio, sendo o principal produto da excreção dos peixes e possuindo maior concentração em ambientes alcalinos (SÁ, 2021).

3.3.3 Varáveis biológicas

3.3.3.1 Coliformes totais

A principal ação antrópica que promove a degradação dos corpos hídricos é o lançamento de efluentes domésticos ou de propriedades agrícolas. Sendo assim, a concentração de bactérias bioindicadoras de contaminação fecal são utilizadas para avaliar a qualidade microbiológica da água (STORTO *et al.*, 2021).

Coliformes é um grupo de microrganismos que está distribuído em abundância no ambiente e são utilizados como padrão para medir a qualidade das águas (ANA, 2016).

Sua concentração em grandes quantidades está associada a solos e águas naturais que receberam contaminação fecal recente, se relacionando também à presença de outros patógenos com potencial de risco à saúde (KHATRI; KHATRI; SHARMA, 2020).

Contudo, nem todos esses organismos são patogênicos, podendo também ser encontrados em solos, plantas e animais, por esse motivo são denominados “coliformes totais” (CT) (SANTOS; MONTEIRO, 2018).

3.3.3.2 Bactérias termotolerantes (*Escherichia coli*)

Embora em menor quantidade que a encontrada no grupo de coliformes totais, as bactérias termotolerantes podem ser de origem não exclusivamente fecal, porém possuem menor eficácia como indicadores de qualidade hídrica, pois

dispõem de pouca resistência a condições ambientais, e pela existência de organismos de vida livre (TAFFARELLO *et al.*, 2016).

A bactéria *E. coli* é a principal espécie do grupo dos coliformes termotolerantes, sendo detectada apenas no caso de contaminação fecal. É considerada o melhor indicador de poluição por esgotos domésticos em águas doces (CETESB, 2022b).

Denamur *et. al* (2021), afirmam que algumas cepas de *E. coli* podem representar um sério risco à saúde, uma vez que são capazes de provocar patologias gastrintestinais, além de outras infecções extra intestinais.

3.4 RECUPERAÇÃO/DESASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Devido à dificuldade em encontrar locais adequados para implantação de barragens e aos impactos que sua construção podem causar na qualidade dos recursos hídricos, os cuidados para reduzir a deposição de sedimentos nos reservatórios já existentes, estão aumentando (SHEN, 1999).

Para minimizar esse problema, a longo prazo deve ser realizada uma modificação no uso e ocupação na bacia hidrográfica de montante das barragens, enfatizando a recuperação das áreas degradadas, para diminuir o transporte de sedimentos em direção ao reservatório. A curto prazo, as atitudes a serem tomadas são voltadas à realização de escavação mecânica dos sedimentos ou dragagem imediata (ANDRADE *et al.*, 2020).

O desassoreamento e a recuperação de reservatórios de água é uma prática cada vez mais comum, que objetiva conservar o volume de água reservado necessário para manter a função principal do reservatório (TOMCZYK-WYDRYCH; SWIERCZ, 2021).

Wu, Chou e Lee (2021), afirmam que a urgência em realizar a retirada de sedimentos dos reservatórios, ao mesmo tempo em que existe a necessidade de utilização dessa água, seja para qualquer fim, pode incentivar a conduta perante aos projetos de obras hidráulicas. Sendo assim, devem ser discutidas novas ideias para que a exploração dos recursos hídricos, através de reservatórios de água, reduza os assoreamentos e o dano ao ambiente, permitindo estabelecer um sistema sustentável.

Dentre os benefícios diretos e indiretos do desassoreamento de reservatórios urbanos, destacam-se: melhoria do ambiente (atenuação do domus de calor

urbano), complemento nas alternativas de esportes e lazer para a população (por proporcionar maiores atrativos visuais e ambientais), recuperação de manancial degradado (melhoria do ambiente para o desenvolvimento da fauna aquática), aumento da capacidade de armazenagem de água e amortecimento de cheias (atenuação dos picos máximos e mínimos de vazões), redução dos processos erosivos à jusante do reservatório (atenuação das vazões máximas à jusante) e aumento de atrativos para o turismo.

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo da execução da revisão bibliográfica, constatou-se que a maioria dos trabalhos encontrados analisaram o efeito do assoreamento e seus impactos ambientais, não analisando as decorrências de uma obra de desassoreamento. Foram encontrados estudos abordando sobre o processo de desassoreamento somente em canais fluviais ou localizados em oceanos.

Algumas pesquisas abordaram sobre os impactos do desassoreamento por dragagem na biota aquática e como os organismos são afetados pela diminuição de habitats adequados (DE JONGE *et al.*, 2012; ERFTEMEIJER; LEWIS, 2006; SMITH; SILVA; BIAGIONI, 2019).

O estudo de Rocha e Silva (2021), tratou sobre os impactos e transformações na paisagem e as possíveis mudanças no meio geográfico do local assoreado. E outros trabalhos abordaram sobre a destinação do material retirado nos desassoreamentos para que não ocorra em locais inadequados, visto a ocorrência de possíveis impactos associados (COSTA *et al.*, 2013; HEINRICH *et al.*, 2015; MATEJ-ŁUKOWICZ *et al.*, 2021; REMINI, 2022).

Entretanto, não foram encontradas pesquisas que avaliaram as consequências para a qualidade de água, durante a realização de um trabalho de desassoreamento por escavação. Os estudos em pequenos reservatórios de água são especialmente escassos e nenhum considera a interferência de desassoreamento na qualidade dos recursos hídricos, comprovando assim, o caráter inovador dessa pesquisa do ponto de vista científico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

O reservatório de água objeto deste estudo, localiza-se no município de Fernandópolis, Noroeste do Estado de São Paulo, entre as latitudes 20°15'50,44" e 20°15'48,69" Sul e as longitudes 50°14'8,72" e 50°14'24,18" Oeste (Figura 1).

Figura 1 - Localização do reservatório de água estudado em Fernandópolis (SP)



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

O município de Fernandópolis detém uma área territorial de 549,80 km², está localizado a 550 km da capital São Paulo e possui uma população estimada de 69.680 habitantes (IBGE, 2021).

Fernandópolis possui altitudes que variam de 340 a 560 m, porém a maior parte de seu espaço territorial (58,28%) está compreendido entre as altitudes de 440 a 500 m. Quanto à declividade, a maior parte de seu território (81,67%) apresenta valores entre 2 a 10%, consistindo a faixa predominante entre 5 a 10% de declividade (VANZELA, 2012).

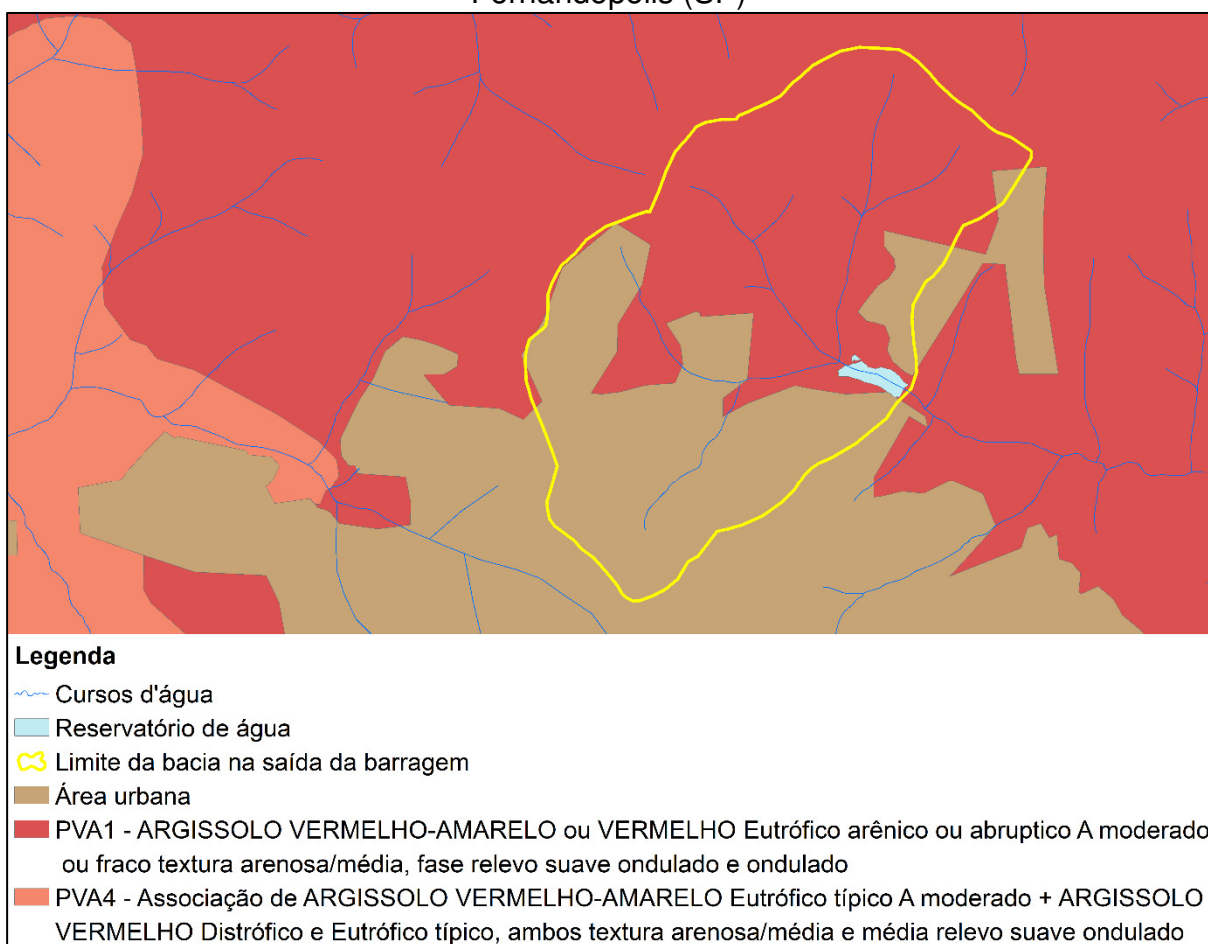
De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tropical úmido (Aw) (ROLIM *et al.*, 2007), com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso. A precipitação média anual é de 1.179 mm, com 8 meses de deficiência hídrica (SMA FERNANDÓPOLIS, 2021).

Quanto à geologia, é caracterizada pela formação geológica de superfície do Grupo Bauru - Formação Marília (K2m), caracterizada por arenito grosso a fino,

imaturo, amarelo e vermelho, conglomerático com clastos arenosos e de calcário fino; arenito fino a médio, imaturo, com fração subordinada de areia grossa a grânulos; ambiente continental desértico, leque aluvial médio a distal (CPRM, 2006).

A região da bacia de drenagem do reservatório de água estudado, é constituída totalmente pelo solo do tipo PVA1 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico A moderado ou fraco textura arenosa/média, fase relevo suave ondulado e ondulado (ROSSI, 2017) (Figura 2).

Figura 2 - Tipos de solos encontrado na região do reservatório de água em Fernandópolis (SP)

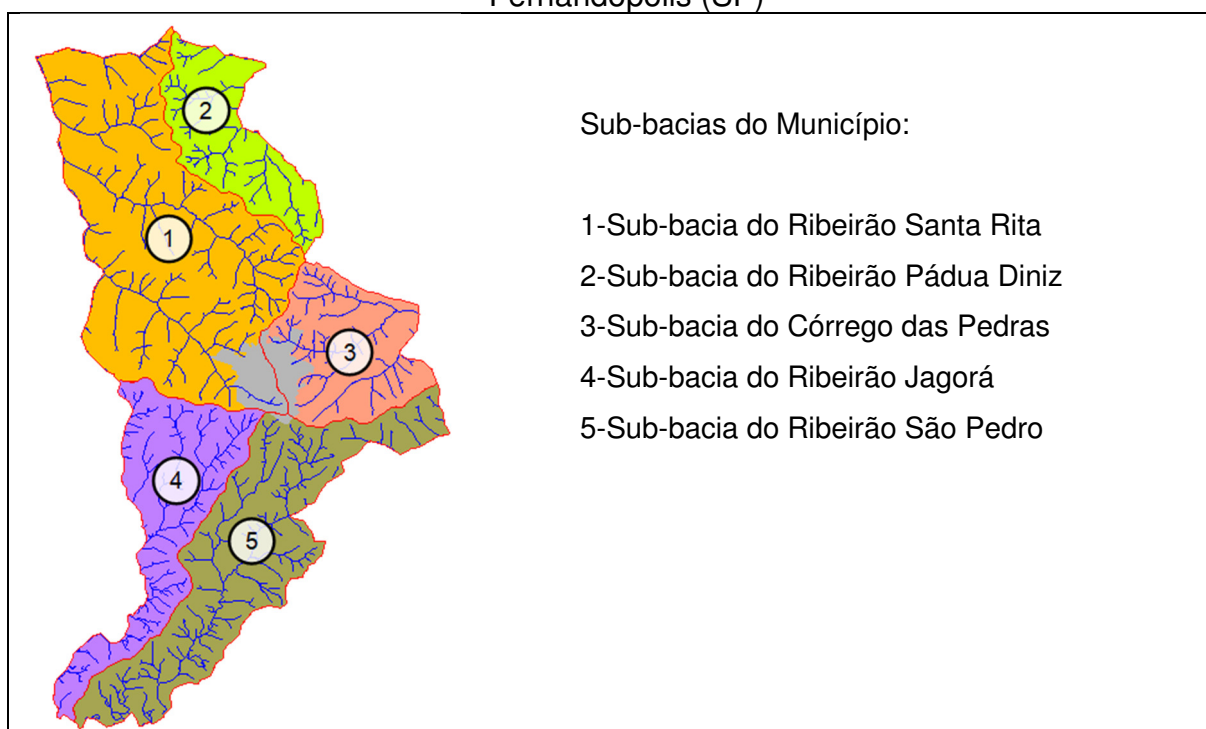


Fonte: Adaptado de Rossi (2017).

A região de Fernandópolis é considerada ecótono, ou seja, está localizada em uma zona de transição entre dois biomas: Mata Atlântica e Cerrado. Embora a maioria do território municipal seja ocupado pelo bioma Mata Atlântica (98,2%), há evidências ecológicas de presença de espécies da fauna e flora pertencentes aos dois biomas (OLIVEIRA, 2012) e o tipo de fisionomia da vegetação é caracterizado como Floresta Estacional Semidecidual (Mata Semicaducifolia) Antropizada.

No que se refere aos recursos hídricos, de acordo com Vanzela (2012), Fernandópolis tem o seu território dividido em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), sendo 61,8% na Bacia do Rio Turvo/Grande e 38,2% na Bacia do São José dos Dourados. Na Bacia do Rio Turvo/Grande, os recursos hídricos superficiais se dividem entre as sub-bacias dos Ribeirões Santa Rita (38,2% do total), Pádua Diniz (10,7% do total) e do Córrego das Pedras (12,9% do total). Enquanto na Bacia do São José dos Dourados, os recursos hídricos superficiais se distribuem pelas sub-bacias dos Ribeirões Jagora (14,9% do total) e São Pedro (23,3% do total) (Figura 3).

Figura 3 - Sub-bacias que compõem os recursos hídricos superficiais do município de Fernandópolis (SP)



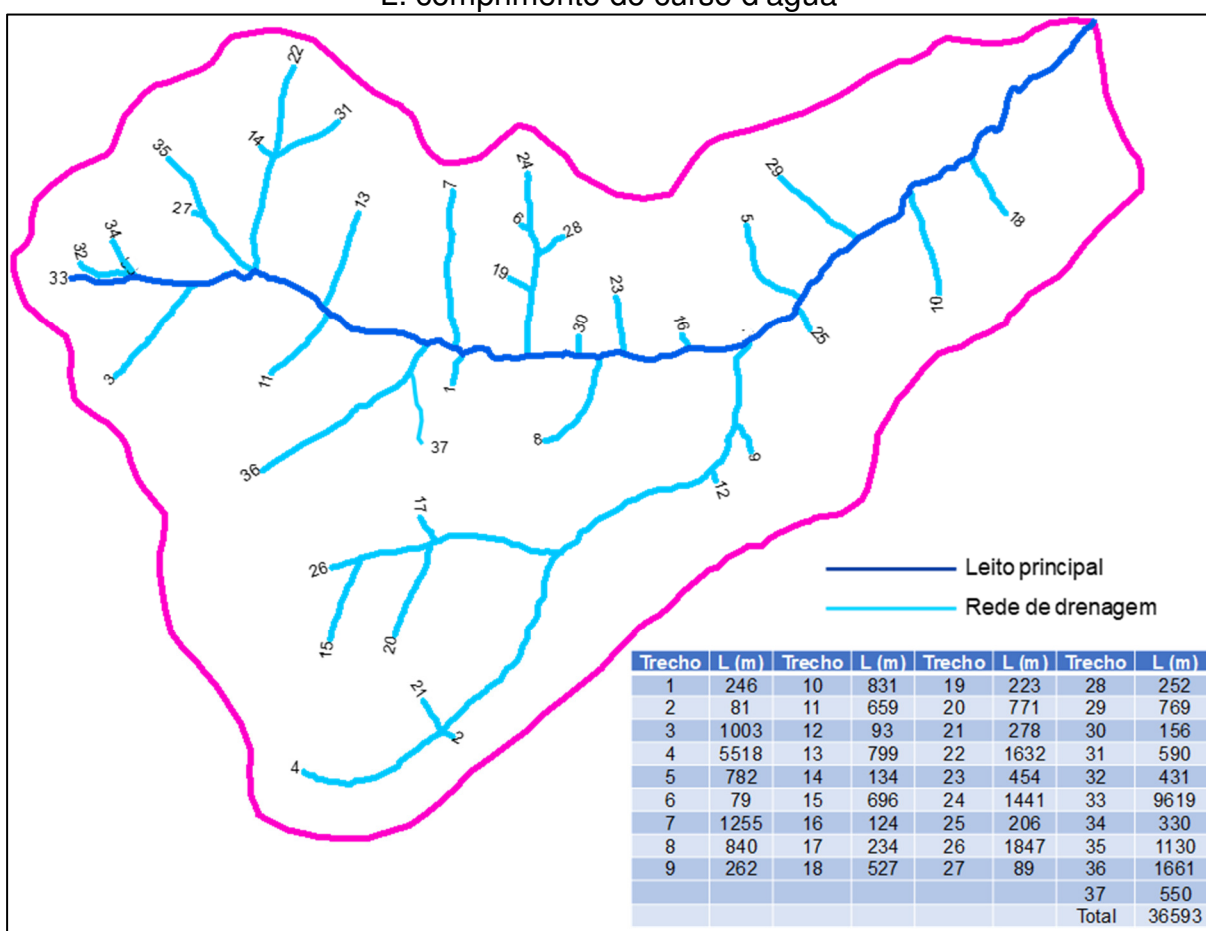
Fonte: Adaptado de Vanzela (2012).

O reservatório estudado está localizado a 1.663 m da nascente do Córrego da Aldeia, que é afluente da Sub-bacia do Córrego das Pedras, e por sua vez, deságua na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo/Grande (UGRHI 15).

No Córrego da Aldeia, há uma estação de tratamento de esgoto da SABESP, com duas lagoas anaeróbias e duas lagoas facultativas, que lança efluente tratado de esgoto doméstico à 7.977 m da foz da bacia. Portanto, esse recurso hídrico tem grande importância paisagística e para o tratamento do efluente de esgoto no município de Fernandópolis (SMA, 2021).

Ainda de acordo com SMA (2021), a bacia hidrográfica do Córrego da Aldeia possui um total de 37 nascentes e cursos d'água (Figura 4), somando 36,593 km de extensão de rede de drenagem, com densidade de drenagem de 1,188 km km⁻². O leito principal do córrego possui comprimento total de 9,619 km e declividade equivalente de 4,625 m km⁻¹. De acordo com São Paulo (1977), o enquadramento desse corpo hídrico é classe 4 em toda sua extensão.

Figura 4 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego da Aldeia, em que L: comprimento do curso d'água

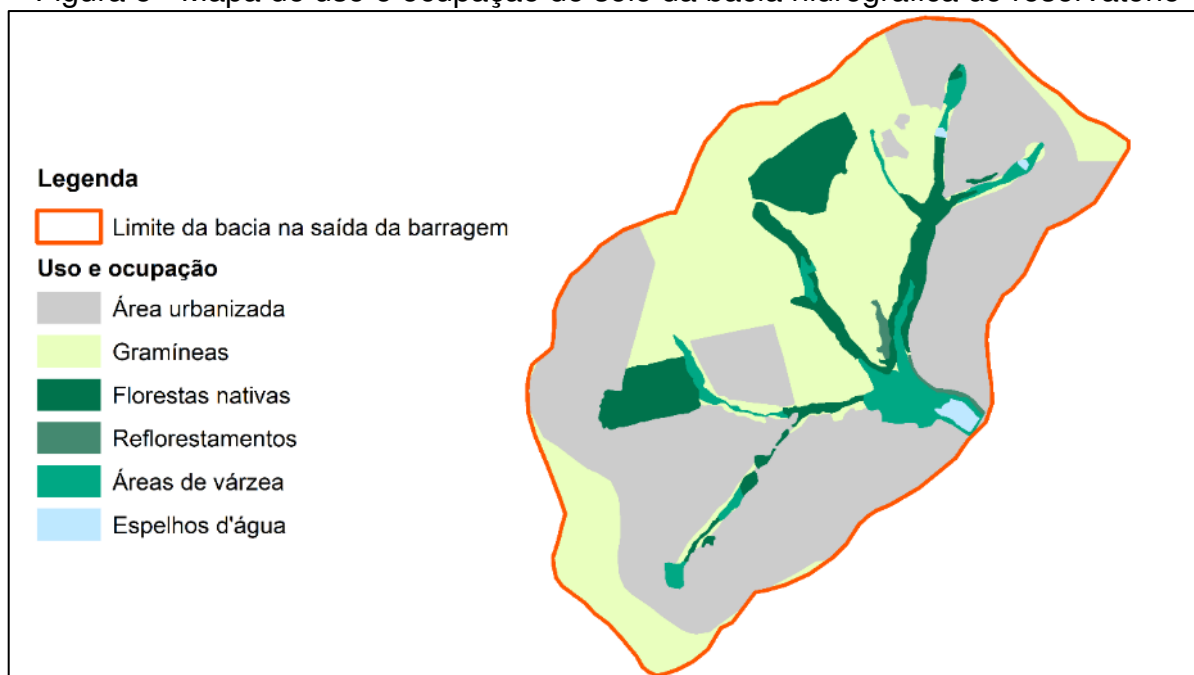


Fonte: (SMA, 2021).

Para a delimitação e definição do uso e ocupação da bacia hidrográfica até o ponto de saída da barragem do reservatório, foram utilizadas cartas topográficas fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e imagens de satélite do *software Google Earth Pro*, para posterior realização dos recortes e classificação das feições no *software ARCMAP*.

A bacia hidrográfica até o ponto de saída da barragem possui área de 5,57 km², com extensão do leito principal de 2.215 m, sendo ocupada principalmente por áreas urbanizadas (50,7%), gramíneas (35,7%) e florestas nativas (9,0%) (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do reservatório

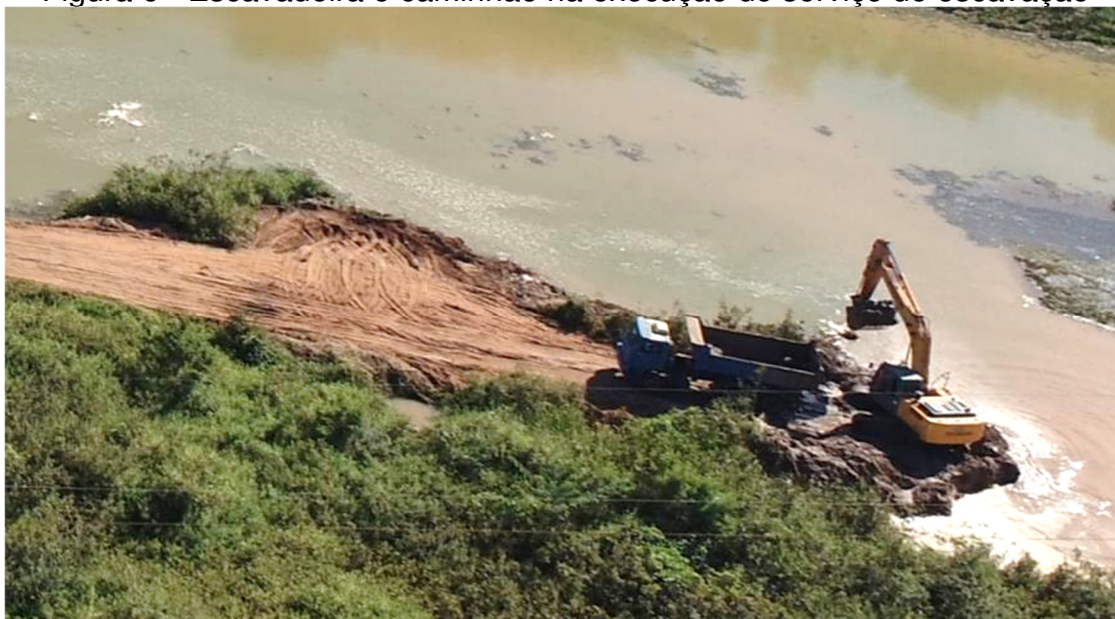


Fonte: Autoria própria.

4.2 DESCRIÇÃO DO SERVIÇO DO DESASSOREAMENTO

O serviço da etapa de escavação do desassoreamento foi realizado com o auxílio de uma escavadeira hidráulica e quatro caminhões basculantes de tração 6x4 e capacidade de 14 m³. A escavadeira realizou a remoção do material sedimentado, carregando os caminhões posteriormente, que transportaram o material escavado para a devida destinação (Figura 6).

Figura 6 - Escavadeira e caminhão na execução do serviço de escavação



Fonte: Autoria própria.

Os sedimentos retirados durante a escavação foram destinados à área do Ecoporto de Resíduos Vegetais da Prefeitura Municipal de Fernandópolis, localizada a 1.200,00 m do local da obra.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial $2 \times 3 \times 4$, em que os fatores principais foram constituídos dos períodos de escoamento superficial (PEsc) (com e sem escoamento), os secundários pelos períodos do desassoreamento (PDes) (antes, durante e após a escavação) e o terciário pelos pontos de monitoramento (Po) (pontos a montante E1, E2 e E3 e ponto S a jusante, em relação ao reservatório).

4.4 PONTOS DE MONITORAMENTO

Os pontos de monitoramento foram definidos pela localização em relação ao reservatório, sendo três pontos de entrada localizados a montante do reservatório (E1, E2 e E3) e um ponto de saída, a jusante do reservatório (S) (Figura 7).

Figura 7 - Localização dos pontos de amostragem e delimitação da área escavada

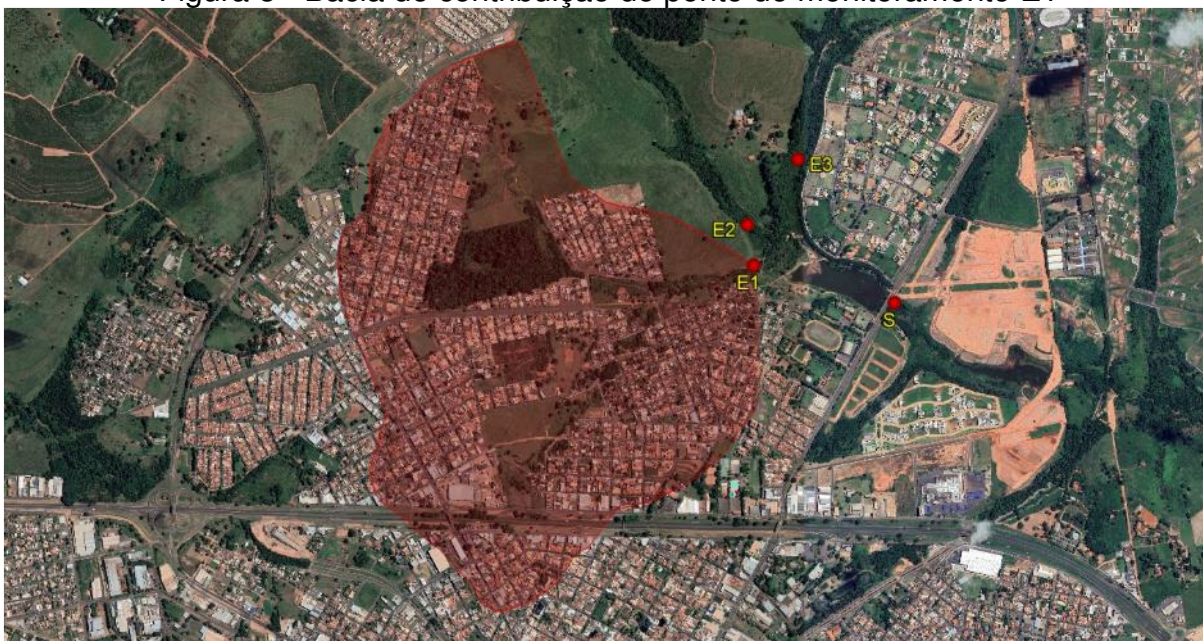


Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

4.4.1 Ponto E1

O ponto de monitoramento E1 está localizado nas coordenadas geográficas 20°15'47,21" Sul e 50°14'28,51" Oeste e encontra-se a montante do reservatório, a 610 m de distância do ponto S. Possui uma bacia de contribuição com área de 2,55 km² (Figura 8), sendo ocupada em sua maior parte por 65% de área urbanizada e 27% de gramíneas.

Figura 8 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E1



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

O local encontra-se degradado, com assoreamento acentuado e possui leito raso e estreito. É uma área que possui presença de equinos e bovinos, além de receber águas pluviais e resíduos sólidos dos bairros no entorno, assim como lançamento clandestino de esgoto (Figura 10).

Figura 9 - Vista geral do ponto de monitoramento E1



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Vista geral do ponto de monitoramento E1



Fonte: Autoria própria.

4.4.2 Ponto E2

O ponto E2 está localizado a montante do reservatório, a uma distância de 702 m da saída da barragem, nas coordenadas geográficas 20°15'42,04" Sul e 50°14'29,80" Oeste. Possui uma bacia de contribuição de 0,87 km², ocupada em maior parte por gramíneas (80%) e florestas nativas (17%) (Figura 11).

Figura 11 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E2



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

Este trecho do córrego é caracterizado por escassez de matas ciliares e pelo processo avançado de assoreamento. Possui leito raso e alargado, com presença de macrófitas aquáticas (Figura 12 e 13). É uma área de cultivo de bovinos e serve para dessedentação dos animais.

Figura 12 - Vista geral do ponto de monitoramento E2



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - Vista geral do ponto de monitoramento E2



Fonte: Autoria própria.

4.4.3 Ponto E3

Localizado nas coordenadas geográficas 20°15'32,89" Sul e 50°14'22,16" Oeste, o ponto de monitoramento E3 está a 718 m distante do ponto S. Sua bacia de contribuição possui 1,62 km², ocupada em sua maior parte por área urbanizada (51%) e gramíneas (36%) (Figura 14).

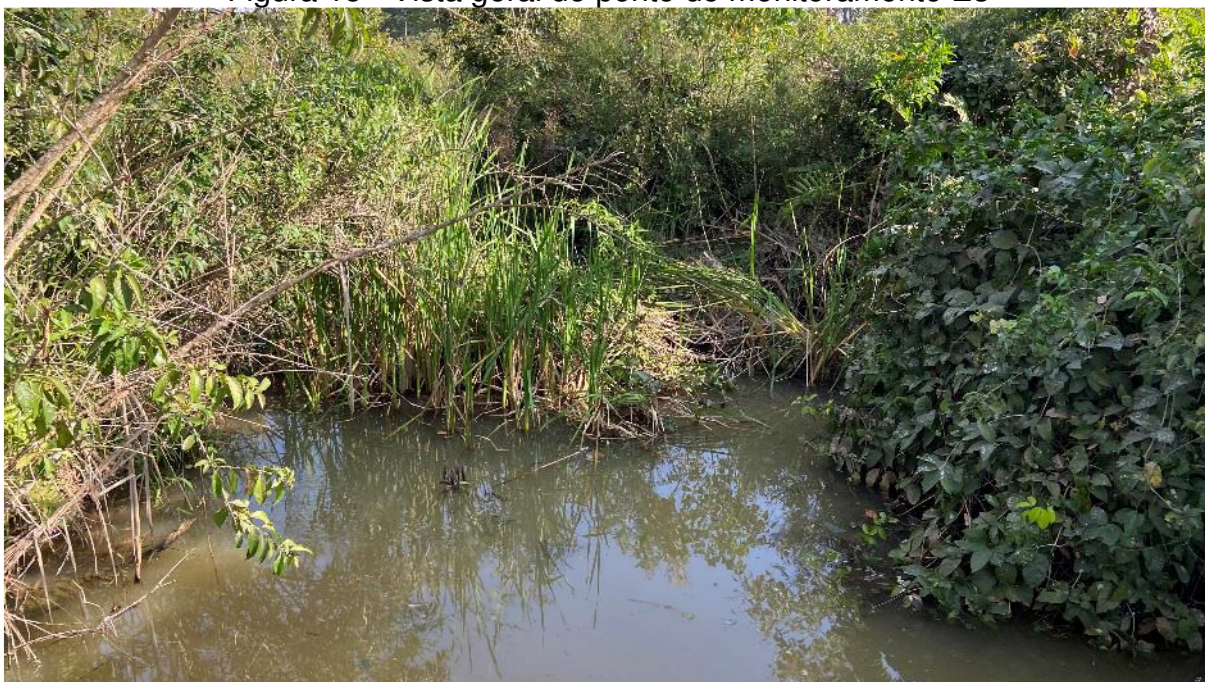
Figura 14 - Bacia de contribuição do ponto de monitoramento E3



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

Esse ponto possui espelho d'água e profundidade maior que os demais, com presença de macrófitas aquáticas. Dispõe de mata ciliar preservada e é habitado por animais, como capivaras (Figura 15).

Figura 15 - Vista geral do ponto de monitoramento E3



Fonte: Autoria própria.

4.4.4 Ponto S

Possuindo uma bacia de contribuição de 5,57 km² (Figura 16), o ponto S está situado a jusante do reservatório, nas coordenadas geográficas 20°15'52,27" Sul e 50°14'08,19" Oeste.

Figura 16 - Bacia de contribuição ponto de monitoramento S



Fonte: Adaptado do *Google Earth Pro* (2022).

O local fica após a dissipação de energia da travessia do reservatório e possui mata ciliar preservada nesse trecho, com leito raso e alargado e com muita presença de macrófitas aquáticas (Figura 17 e 18).

Figura 17 - Vista geral do ponto de monitoramento S



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Vista geral do ponto de monitoramento S



Fonte: Autoria própria.

4.5 PERÍODOS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O fator períodos de escoamento foi definido a partir do escoamento superficial determinado pelo Método do Número da Curva, desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2004). Com esse método, é possível estimar o volume de escoamento superficial pela área da bacia, a partir de dados de precipitação e outras características da bacia.

Dessa forma, a partir das quatro sub-bacias delimitadas para os pontos monitorados, o escoamento superficial foi calculado para cada uma de acordo com a seguinte expressão:

$$ES = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \dots\dots\dots \text{Equação (1)}$$

Em que:

ES= escoamento superficial (mm);

P= precipitação acumulada em determinado intervalo de tempo (mm);

S= capacidade máxima de armazenamento do solo (mm).

Neste trabalho, o escoamento superficial (ES) considerado foi o acumulado em 7 dias anteriores à data de monitoramento das variáveis hídricas. Para isto, as variáveis “P” e “S” da Equação 1 também foram os totais acumulados de precipitação e capacidade máxima de armazenamento do solo nos 7 dias anteriores aos monitoramentos.

Os dados de precipitação foram obtidos a partir de dados de estação climatológica automática do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO, 2022), localizada a 6 km da saída da barragem. A capacidade máxima de armazenamento do solo foi determinada pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots\text{Equação (2)}$$

Em que:

S= capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

CN= número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo.

Os valores do número da curva corrigidos com a umidade antecedente do solo (CN) são obtidos por classificação da precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5D), pelas seguintes expressões:

a) $CN = 0,0077CN_{II}^2 + 0,1694CN_{II} + 2,1658$ ($r^2=0,9978$), para P5D inferior a 35,0 mm;

b) $CN = CN_{II}$, para P5D entre 35,0 e 52,5 mm;

c) $CN = -0,0067CN_{II}^2 + 1,596CN_{II} + 6,9307$ ($r^2=0,9000$), para P5D superior a 52,5 mm.

Em que:

CN= número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo;

CN_{II} = número da curva em função do uso e ocupação do solo.

A caracterização das bacias foi realizada *in situ* e por imagens do *Google Earth Pro*. Os valores de CN_{II} foram atribuídos em função do uso e ocupação do solo, sendo os números adotados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de número da curva (CN_{II}) atribuídos em função do uso e ocupação do solo

Descrição	CN_{II}
Gramíneas - boas condições	61
Gramíneas - degradadas	67
Florestas nativas	55
Loteamentos - menos de 50% urbanizados	75
Loteamentos - mais de 50% urbanizados	85
Espelhos d'água	100

Fonte: Adaptado de Pruski, Brandão e Silva (2004).

Após determinados os escoamentos superficiais, definiu-se como período sem escoamento, quando não houve escoamento superficial acumulado nos sete dias anteriores a data de monitoramento, enquanto os períodos com escoamento, foram definidos nas datas em que o escoamento superficial acumulado de sete dias foi maior do que zero.

4.6 PERÍODOS DE ESCAVAÇÃO

O fator períodos de escavação foi definido a partir do período de monitoramento em relação ao serviço de escavação para o desassoreamento, sendo: (a) antes – monitoramentos realizados antes do início da escavação, (b) durante – monitoramentos realizados ao longo de todo período em que a obra estava sendo executada e (c) depois – monitoramentos realizados após o término da escavação.

4.7 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.7.1. Variáveis hídricas

As variáveis hídricas analisadas foram a série de sólidos (concentração de sólidos totais, suspensos e dissolvidos) (mgL^{-1}), temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica da água a 25°C (μScm^{-1}), potencial hidrogeniônico, concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}), coliformes totais (UFC/100 mL), bactérias termotolerantes (*E. coli*) (UFC/100 mL), concentração de amônia e amônio (mgL^{-1}). Algumas variáveis foram analisadas *in situ*, enquanto outras foram amostradas e analisadas em laboratório (Tabela 3).

Tabela 3 - Detalhamento da forma e método de análises das variáveis hídricas

Variável	Método	Material e equipamento
Sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD) e sólidos suspensos (SS)	Gravimétrico, analisado em laboratório	Cápsula de porcelana, balança eletrônica de precisão, funil de Büchner, bomba de vácuo, papel de filtro e estufa de secagem
Condutividade elétrica (CE)	Leitura automática, analisado em laboratório	Condutímetro (MS Tecnopon®)
Coliformes totais (CT) e bactérias termotolerantes (<i>E. coli</i>)	Análise quantitativa, analisado em laboratório	Kit microbiológico de cartelas <i>Colipaper</i> ® e Micro estufa microbiológica (marca Alfakit)
Potencial hidrogeniônico (pH)	Leitura automática, analisado <i>in situ</i>	Fotômetro multiparâmetro (modelo HI83303-01, da marca HANNA® instruments)
Amônia (NH_3) e amônio (NH_4^+)	Fotometria, analisado <i>in situ</i>	
Oxigênio dissolvido (OD) e temperatura da água (T)	Compensação automática, analisado <i>in situ</i>	Medidor multiparâmetro (modelo AK87, da marca AKSO)

Fonte: Autoria Própria.

As variáveis hídricas qualitativas avaliadas *in situ* foram potencial hidrogeniônico, amônia, amônio, oxigênio dissolvido e temperatura da água. Para a análise de pH, as amostras foram coletadas em copos de plástico para realizar a leitura automática no fotômetro multiparâmetro (Figura 19a,b). Para a concentração de NH_3 e NH_4^+ , antes da medição no fotômetro, adicionou-se os reagentes, conforme manual do equipamento (Figura 19c). A concentração de OD e a temperatura da água, foram aferidas diretamente no curso d'água com o medidor multiparâmetro (Figura 19d).

Figura 19 - Coleta das amostras *in situ* (a), análise com o fotômetro multiparâmetro (b), utilização dos reagentes de NH_3 e NH_4^+ (c) e análise com o medidor multiparâmetro (d)



Fonte: Autoria própria.

Para os restantes das variáveis, analisadas em laboratório, as amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno de 500 mL bem higienizadas (Figura 20a), sendo acondicionadas em isopor com gelo, para o transporte. No caso das amostras bacteriológicas, foram coletadas diretamente no córrego, retirando-se o excesso das cartelas (Figura 20b), que em seguida eram acondicionadas em sacos plásticos e em isopor com gelo até serem levadas ao laboratório.

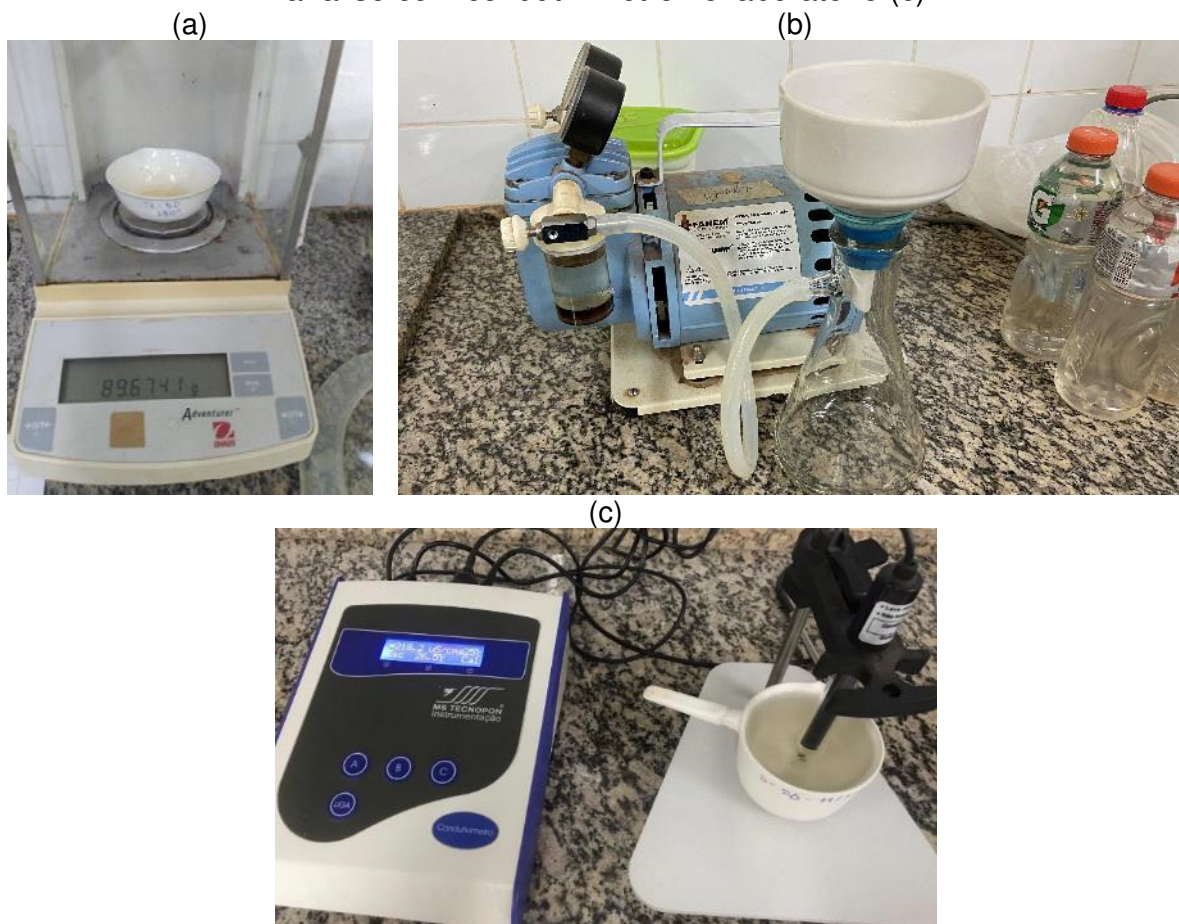
Figura 20 - Garrafas utilizadas para coletar as amostras de água (a) e coleta das amostras de CT e *E. coli* levadas para o laboratório (b)



Fonte: Autoria própria.

A concentração de sólidos totais foi analisada pelo método gravimétrico, em que as amostras são pesadas na balança de precisão (Figura 21a) e levadas para a estufa de secagem a 105 °C por 24 h. Para os sólidos dissolvidos, foi realizado o mesmo procedimento, porém as amostras eram filtradas com o auxílio de funil de *Büchner* e bomba de vácuo antes de serem levadas à estufa (Figura 21b). As análises de condutividade elétrica da água, foram determinadas por leitura automática em condutivímetro (Figura 21c).

Figura 21 - Balança (a) e filtro (b) utilizados para análise da série de sólidos e análise com condutivímetro no laboratório (c)



Fonte: Autoria própria.

Para a análise microbiológica de CT e *E. coli*, as amostras em *Colipaper*[®] eram colocadas na micro estufa por 15 h, à temperatura de 36°C (Figura 22a). Após, realizava-se a contagem das colônias, onde os pontos violeta a azuis indicam presença de *E. coli* e, os pontos violeta a azuis e róseo a vermelhos, indicam presença de coliformes totais (Figura 22b).

Figura 22 - Micro estufa microbiológica (a), contagem nas cartelas *Colipaper*[®] (b)



Fonte: Autoria própria.

4.7.2. Variáveis do desassoreamento

A evolução do serviço de desassoreamento por escavação foi determinada pelas variáveis área de espelho d'água e volume de sedimentos escavado.

A área de espelho d'água foi levantada por aerofotogrametria, com aeronave remotamente pilotada modelo DJI *Phantom 4 Pro V2*, com *payload* de câmera RGB de resolução de 20 megapixels e voo projetado para GSD (*Ground Sample Distance*) máximo de 10 cm (Figura 23). As imagens foram processadas no *software* comercial *DroneDeploy* e todos os mapas e geoprocessamentos foram elaborados com o auxílio do *software* ArcGIS.

Figura 23 - Levantamento com drone



Fonte: Autoria própria.

O volume de sedimentos retirados por escavação foi monitorado pela quantidade de caminhões basculantes transportados até a área de bota-fora, registrada em caderneta de campo.

A partir do monitoramento da área de espelho d'água e do volume de material escavado, determinou-se as variações no avanço do desassoreamento em área e em volume.

4.8 AMOSTRAGENS

Ao todo foram coletadas 100 amostras de água em um total de 25 campanhas de amostragens quinzenais/mensais, distribuídas nos períodos de escoamento superficial, períodos de escavação e pontos de monitoramento (Tabela 4). Todas as coletas foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas.

Tabela 4 - Detalhe das campanhas de amostragens

Fator		Período	Campanhas	Amostras
Períodos de escoamento superficial	Com	06/01/2021 a 28/01/2021	4	16
		12/02/2021 a 25/02/2022		
		09/04/2021 a 22/04/2021		
		28/09/2021 a 26/10/2021		
Períodos de escoamento superficial	Sem	15/07/2020 a 05/01/2021	21	84
		23/04/2021 a 02/06/2021		
		17/06/2021 a 27/09/2021		
		27/10/2021 a 24/03/2022		
Períodos de escavação	Antes	15/07/2020 a 12/08/2020	3	12
	Durante	05/01/2021 a 30/11/2021	19	76
	Depois	20/01/2022 a 24/03/2022	3	12
Pontos de monitoramento	E1	15/07/2020 a 24/03/2022	25	100
	E2			
	E3			
	S			

Fonte: Autoria própria.

Ao longo de todo o período de monitoramento foram realizados 13 aerolevantamentos, datados em 15/09/2020, 05/01/2021, 17/02/2021, 18/03/2021, 23/04/2021, 21/05/2021, 17/06/2021, 21/07/2021, 31/08/2021, 30/09/2021, 22/10/2021, 01/12/2021 e 25/03/2022. Foram gerados ortomosaicos para todas as datas, produzidos a partir das imagens coletadas, permitindo acompanhar a progressão do espelho d'água (Figura 24).

Figura 24 - Exemplos dos ortomosaicos gerados durante a obra



Fonte: Autoria própria.

4.9 METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Após a obtenção dos dados das variáveis hídricas, realizou-se a análise de variância dos fatores isolados (PEsc, PDes e Po) e de sua interação (PEscxPo e PDesxPo). No caso de significância estatística ($p < 0,05$), as análises prosseguiram pelo teste de comparação de médias de Scott e Knott (1974), ao nível de 5% de significância estatística.

Para avaliar o efeito do avanço da escavação, realizou-se o teste de Correlação Cruzada de Pearson, das variáveis hídricas em função das variáveis do desassoreamento. Para as correlações significativas ($p < 0,05$), prosseguiu-se com a análise de regressão. Foram testados os modelos linear, quadrático e exponencial, em que o melhor modelo foi selecionado com base em seu nível de significância e coeficiente de determinação.

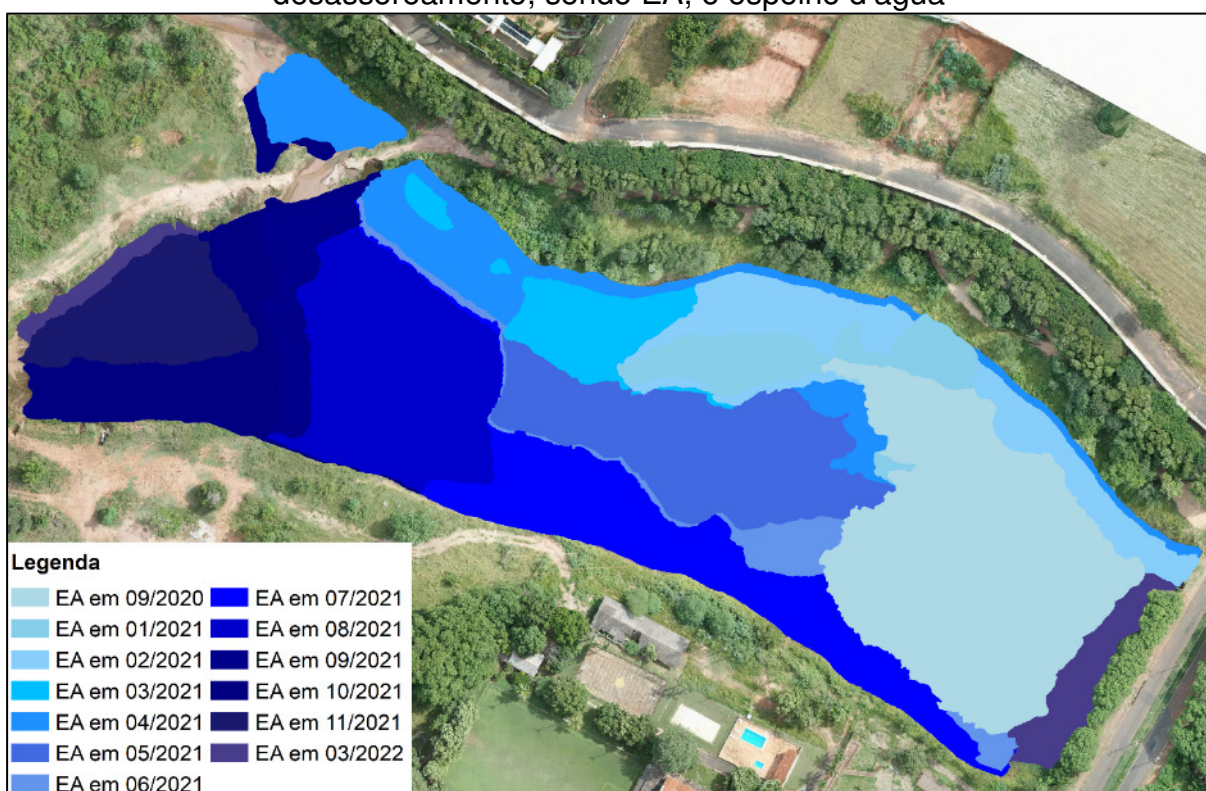
As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* IBM® SPSS® versão Educacional e os gráficos no *software* Microsoft Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVANÇO DO DESSASSOREAMENTO

O monitoramento do avanço gradual da área de espelho d'água do reservatório, realizado por aerolevanteamento durante a etapa de escavação, pode ser observado na Figura 25.

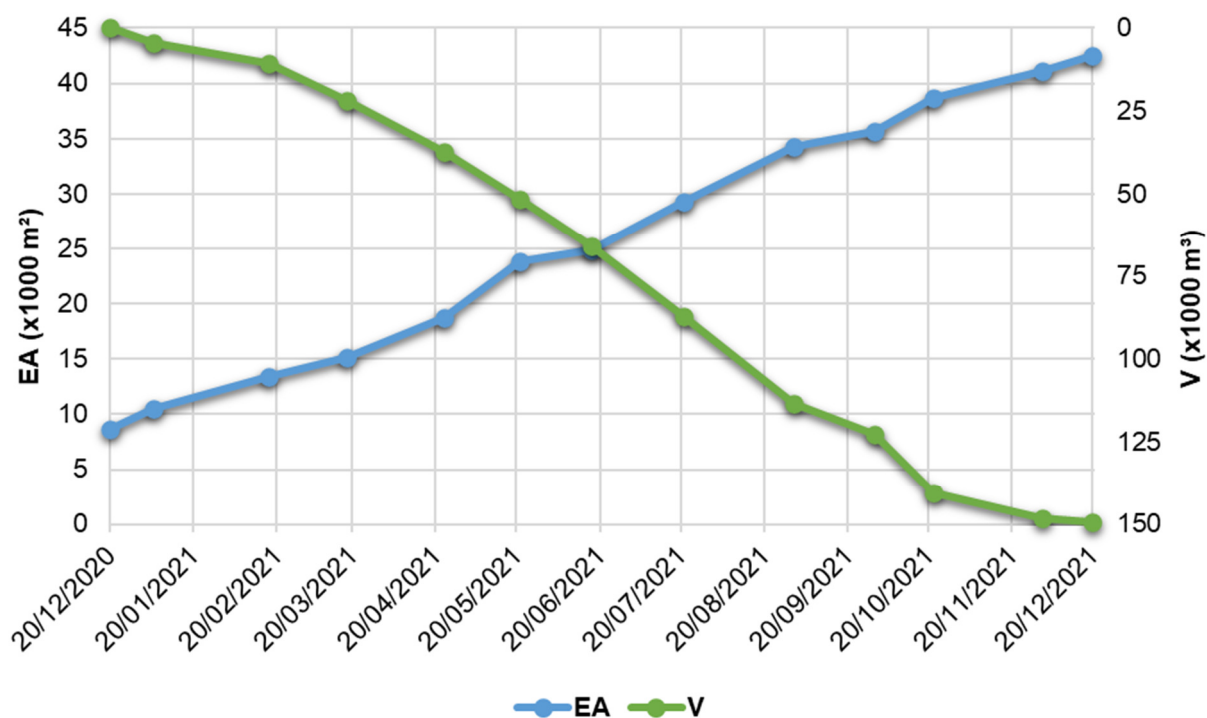
Figura 25 - Evolução da área de espelho d'água do reservatório com a obra de desassoreamento, sendo EA, o espelho d'água



Fonte: Autoria própria.

A partir das imagens obtidas pelo aerolevanteamento, foi possível quantificar a dinâmica do serviço de desassoreamento e observar dois períodos bem distintos em relação a área de espelho d'água e em volume de sedimentos removidos por escavação. Do início do desassoreamento até fevereiro de 2021, a taxa de material escavado foi de 183 m^3 por dia (equivalente a 81 m^2 de espelho d'água por dia), e a partir dessa data até o término da escavação, em dezembro de 2021, a taxa aumentou para 453 m^3 por dia (equivalente a 95 m^2 de espelho d'água por dia) (Figura 26).

Figura 26 - Curva EA (espelho d'água) x V (volume escavado) do serviço de desassoreamento do reservatório



Fonte: Autoria própria.

Esse resultado do efeito no primeiro período, pode ser explicado pela necessidade de construção de acessos para o trabalho das máquinas sobre as áreas mais instáveis (solo com maior umidade ou saturado), associado ao maior volume chuvas, reduzindo a eficiência operacional da escavação.

No segundo período, o trabalho de escavação foi realizado sobre terreno mais estável (seco) e houve menor quantidade pluvial precipitada, facilitando o acesso de caminhões e escavadeira, e conseqüentemente, proporcionando maior rendimento operacional.

5.2 VARIÁVEIS FÍSICAS

5.2.1 Temperatura da água

Após realizada análise de variância, as médias da variável temperatura da água apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) somente para o fator isolado períodos de escoamento (PEsc), não sendo observadas interações significativas (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado da análise de variância da média de temperatura da água (°C), em função dos fatores avaliados

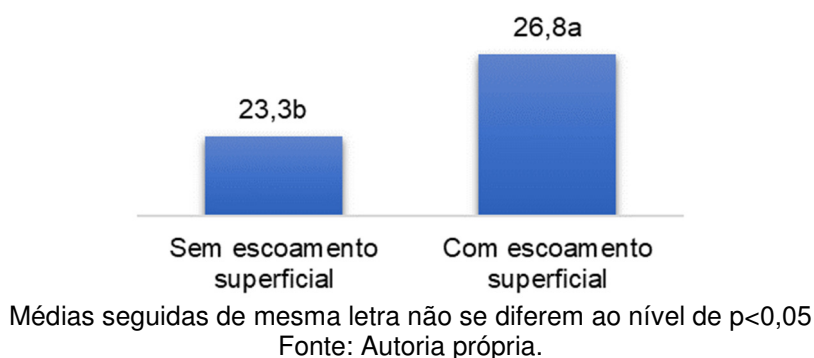
Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	<0,01	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,15	
Pontos (Po)	0,65	17,25
PEscxPo	0,90	
PDesxPo	0,98	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

A maior média de temperatura da água foi observada no período em que houve escoamento superficial (26,8°C), sendo 14,7% superior ao do período sem escoamento (Figura 27).

Figura 27 - Médias de temperatura da água (°C), em função do fator PEsc



A temperatura da água oscila com variações sazonais e a longo do dia (ANA, 2022) e os dados encontrados mostram que esse parâmetro variou de acordo com a temperatura ambiente, onde na região de estudo deste trabalho, há a tendência de aumentar em períodos com chuva acumulada, pois coincide com o período de dias mais quentes.

5.2.2 Sólidos totais

A concentração média de sólidos totais apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator isolado pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de sólidos totais, em função dos fatores avaliados

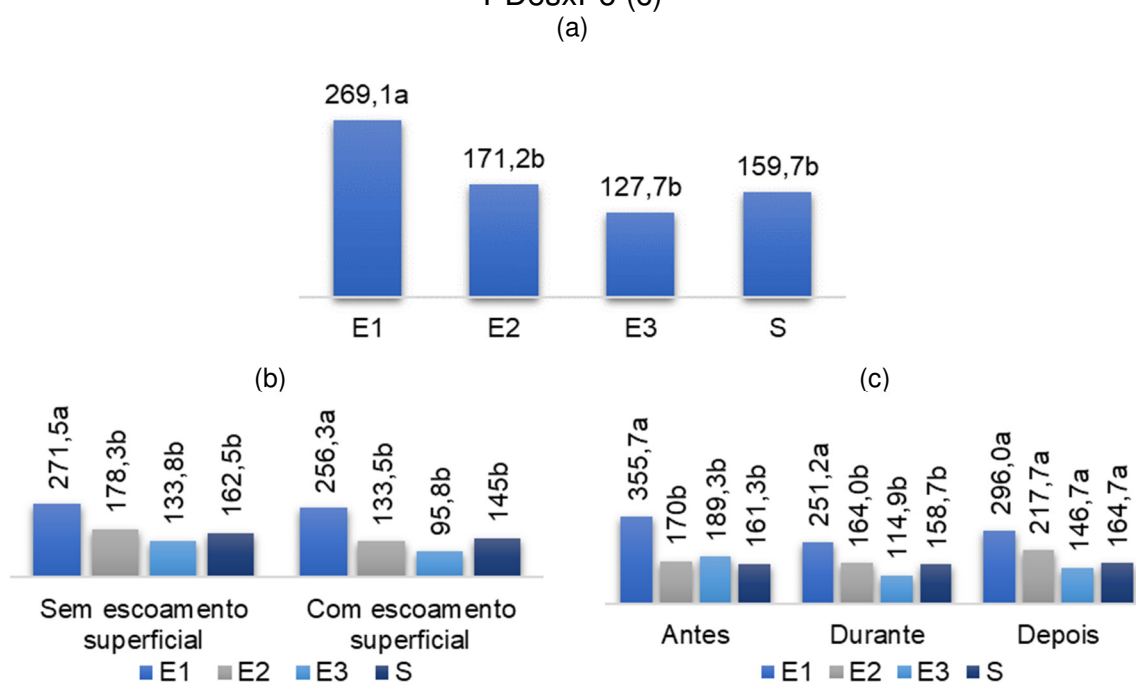
Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,18	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,09	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	<0,01	43,37
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,03	
PDesxPo (Antes)	<0,01	
PDesxPo (Durante)	<0,01	
PDesxPo (Depois)	0,10	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Analisando o fator isolado pontos, no ponto E1 foi observada a maior média de concentração de sólidos totais ($269,1 \text{ mgL}^{-1}$), sendo 76% superior à média dos outros pontos ($152,9 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 28a). Os valores mais altos de ST, relacionam-se ao ponto à montante (E1) em que o corpo d'água está mais assoreado.

Figura 28 - Médias da concentração de sólidos totais (mgL^{-1}), em função do fator Po (a), da interação entre os fatores PEscxPo (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c)



Foram observadas diferenças significativas na interação entre períodos de escoamento e pontos (Figura 28b), onde a média do ponto E1 se manteve maior que os outros pontos (E2, E3 e S) nos períodos sem e com escoamento superficial.

Pelos resultados apresentados na Figura 28c, no desdobramento dos pontos dentro dos períodos de desassoreamento, houve significância estatística nos instantes antes e durante a escavação. O ponto E1, novamente apresentou as maiores médias nesses instantes.

Não é possível associar os resultados obtidos com a legislação vigente, pois a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não possui limite estabelecido para concentração de sólidos totais em corpos hídricos classe 4.

Valores altos dessa variável, costumam estar relacionados ao maior índice de chuvas, que permite o transporte de sedimento para o leito d'água, porém, a alta urbanização próxima aos cursos d'água, também incrementa as médias de concentração de sólidos (ALVES *et al.*, 2021), o que explica a grande concentração de ST encontrada no ponto E1.

5.2.3 Sólidos dissolvidos

A concentração média de sólidos dissolvidos apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para os fatores isolados períodos do desassoreamento (PDes) e pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de sólidos dissolvidos, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,34	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,03	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	<0,01	60,08
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,07	
PDesxPo (Antes)	0,04	
PDesxPo (Durante)	<0,01	
PDesxPo (Depois)	0,04	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

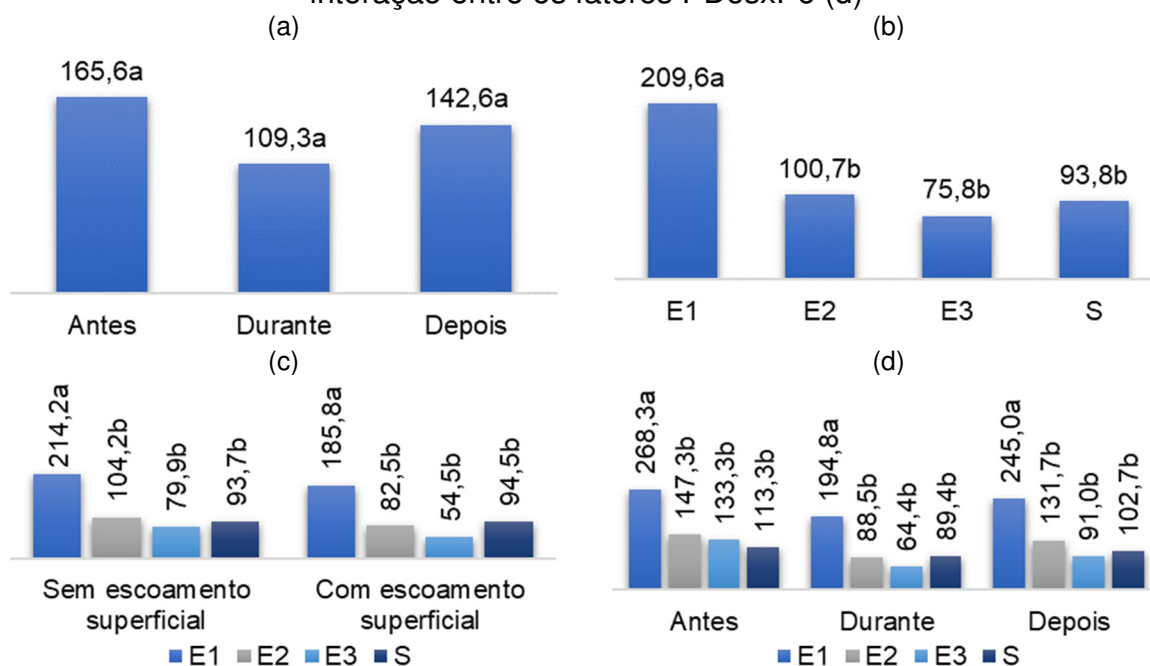
Fonte: Autoria própria.

No fator isolado períodos de desassoreamento, não foi observado significância estatística no teste de comparação de médias, sendo que a média observada entre os períodos foi $139,1 \text{ mgL}^{-1}$ (Figura 29a). Segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), águas doces de classe 4 não possuem um limite máximo de concentração de sólidos dissolvidos, porém, com as concentrações

médias observadas na água ($\leq 500 \text{ mgL}^{-1}$), esse trecho do córrego da Aldeia poderia ser classificado como classe 1.

Na Figura 29b, pode ser observada a concentração média de sólidos dissolvidos em função do fator isolado pontos. Seguindo o padrão dos sólidos totais, o maior valor foi observado no ponto E1, sendo 132,6% superior à média dos pontos E2, E3 e S ($90,1 \text{ mgL}^{-1}$).

Figura 29 - Médias da concentração de sólidos dissolvidos (mgL^{-1}), em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PExcxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

Foi observado significância estatística na interação entre períodos de escoamento e pontos (Figura 29c), onde a média da concentração de sólidos dissolvidos do ponto E1 novamente se manteve maior que os outros pontos (E2, E3 e S) nos dois períodos. O período menos chuvoso, detém maiores valores de sólidos dissolvidos, pois há uma arraste maior de materiais presentes no leito do curso d'água, fazendo que os sólidos estejam mais presentes. Já no período com maior precipitação, a concentração tende a diminuir, uma vez que os sólidos estão diluídos em maior volume de água (ALENCAR *et al.*, 2019).

O desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, apresentou diferença significativa nos três instantes, sendo as médias do ponto E1 foram 104,3%, 141,3% e 125,9%, respectivamente superiores que as médias entre

os pontos E2, E3 e S (Figura 29d). Nota-se que o padrão permaneceu o mesmo nos três momentos da obra, podendo concluir que não houve influência da escavação na concentração de sólidos dissolvidos, relacionando os valores encontrados com à descarga de sólidos, principalmente no ponto E1.

5.2.4 Sólidos suspensos

Na Tabela 8, está o resultado da análise de variância da concentração média de sólidos suspensos, que não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) em nenhum dos fatores analisados.

Tabela 8 - Resultado da análise de variância da concentração média de sólidos suspensos, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,37	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,76	
Ponto (Po)	0,43	67,66
PEscxPo	0,68	
PDesxPo	0,39	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

A média geral da concentração de sólidos suspensos em todo o período avaliado foi de $61,9 \text{ mgL}^{-1}$. Houve uma baixa concentração de sólidos suspensos comparada com as médias de sólidos totais e dissolvidos. Esse fato pode ser justificado por se tratar de trechos próximos a um reservatório, associando com os valores médios de concentração encontrados dessa variável nos trabalhos de Belém (2019) e Guimarães (2019) em pontos próximos a águas represadas.

5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS

5.3.1 Potencial hidrogeniônico

As médias de potencial hidrogeniônico apresentaram significância estatística ($p < 0,05$) para os fatores isolados períodos do desassoreamento (PDes) e pontos (Po), assim como para a interação entre fatores períodos de desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 9).

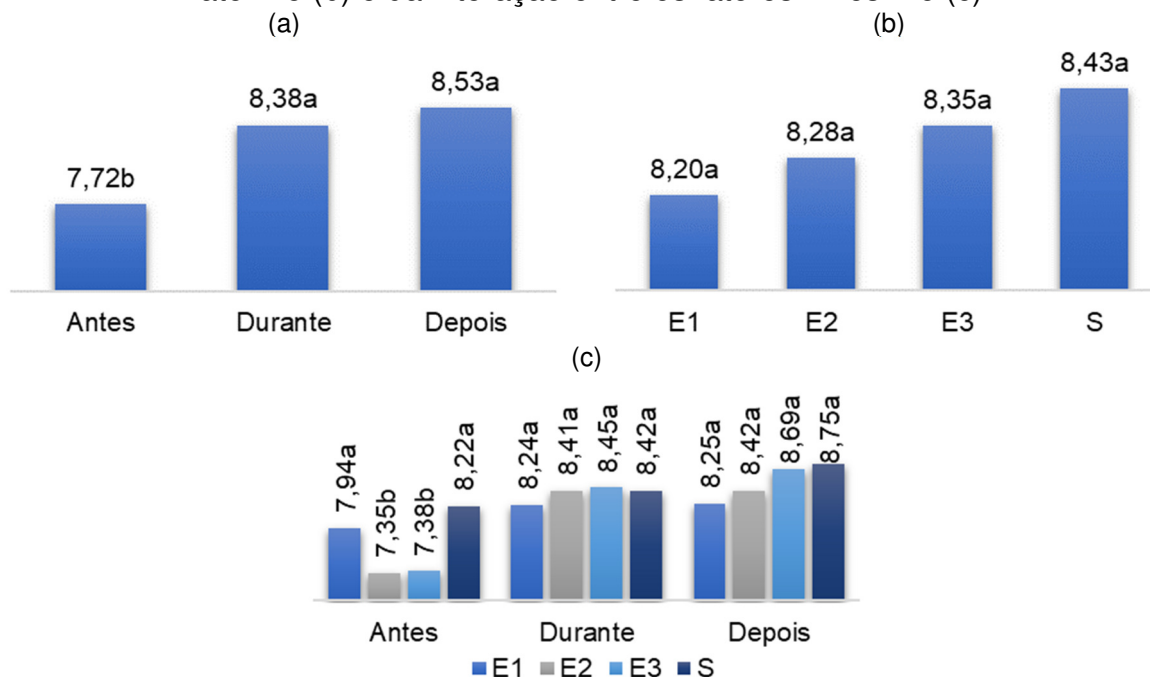
Tabela 9 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias do potencial hidrogeniônico, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,06	
Períodos do desassoreamento (PDes)	<0,01	
Pontos (Po)	0,05	
PEscxPo	0,85	3,54
PDesxPo (Antes)	<0,01	
PDesxPo (Durante)	0,11	
PDesxPo (Depois)	0,12	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 30a, é apresentado os resultados médios de pH nos períodos do desassoreamento, onde a média aumentou após o início da escavação. Comparando a média de antes (7,72) com a média dos valores encontrados durante e depois (8,45), houve um incremento de 9,5%. Como os valores encontrados foram superiores a 7,0, entende-se que a água é alcalina (ANA, 2016).

Figura 30 - Médias de potencial hidrogeniônico, em função do fator PDes (a), do fator Po (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

Não foi encontrada diferença estatística no fator isolado pontos no teste de comparação de médias (Figura 30b), porém, os valores de pH registrados atenderam ao intervalo limite padrão disposto pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que é de 6,0 a 9,0.

Para a maioria dos peixes, o melhor desempenho é observado em águas com pH entre 6,0 e 8,0, porém, há estudos que mostram a adaptação de algumas espécies em águas mais ácidas (KUBITZA, 2017a).

Para o fator interação períodos do desassoreamento e pontos, verificou-se que o pH médio aumentou em todos os pontos após o início da escavação (Figura 30c), o que pode ser explicado pelo crescimento de macrófitas aquáticas nos pontos de amostragem que foi observado durante o monitoramento.

Valores altos de pH podem estar associados à proliferação de vegetais, uma vez que com o aumento das taxas fotossintéticas, ampliado com intensa insolação, há consumo maior de gás carbônico, provocando a redução do ácido carbônico da água e consequente contribuição para que o meio se torne alcalino (VON SPERLING, 2014).

5.3.2 Oxigênio dissolvido

A concentração média da variável oxigênio dissolvido apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator isolado pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de oxigênio dissolvido, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,39	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,77	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	<0,01	29,28
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,38	
PDesxPo (Antes)	0,07	
PDesxPo (Durante)	0,05	
PDesxPo (Depois)	<0,01	

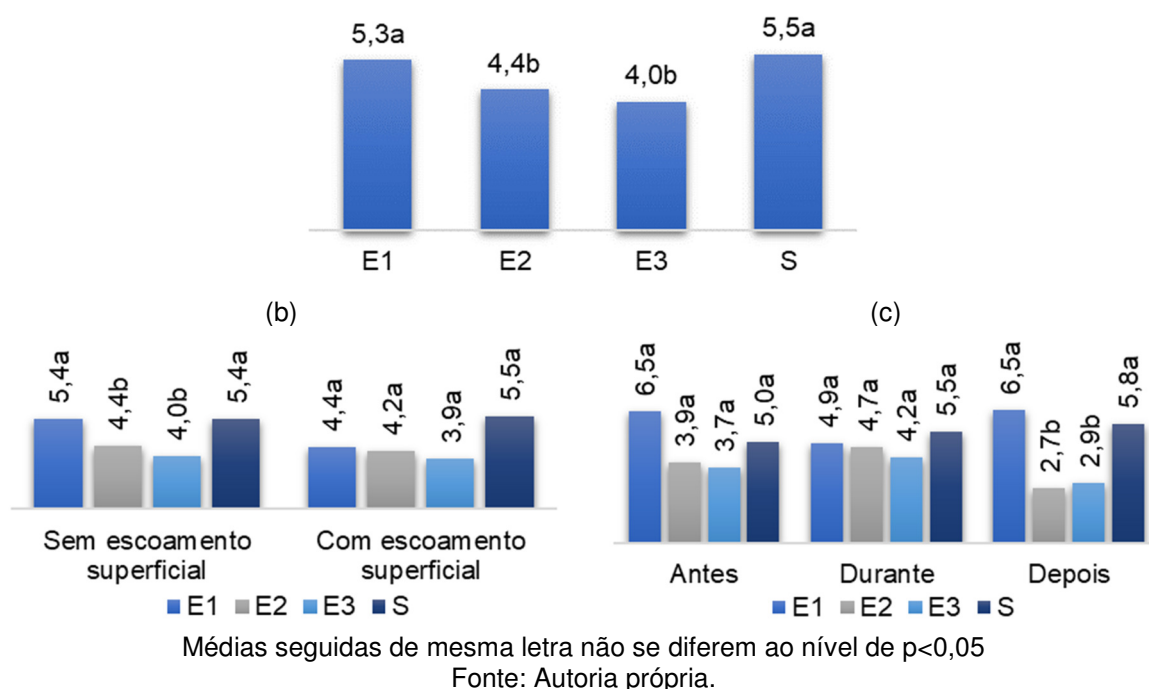
p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Para o fator isolado pontos, a média dos pontos E1 e S ($5,3 \text{ mgL}^{-1}$), foi 28,3% maior que a média de E2 e E3 ($4,18 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 31a). Os valores mais altos apontados nos pontos E1 e S provavelmente são devido ao maior fluxo de água que ocorre nesses locais.

Ao analisar a interação períodos de escoamento e pontos (Figura 31b), observou-se que no período sem escoamento houve diferença significativa, sendo que as maiores médias foram encontradas nos pontos E1 e S. A média desses dois pontos ($5,4 \text{ mgL}^{-1}$) em relação à média dos pontos E2 e E3 ($4,2 \text{ mgL}^{-1}$), foi 29,5% superior. Observa-se que os valores de oxigênio dissolvido encontrados atendem a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que estabelece concentração limite mínima de 2 mgL^{-1} na para águas doces classe 4.

Figura 31 - Médias da concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}), em função do fator Po (a), da interação entre os fatores PEscxPo (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c)
(a)



Dentro do mesmo período do desassoreamento, foi observado significância estatística entre os pontos somente depois do término da escavação e os pontos E1 e S apresentaram as maiores médias (Figura 31c). Os baixos valores de OD encontrados nos pontos E2 e E3 ($< 3,0 \text{ mgL}^{-1}$), afetam os organismos aquáticos, indicando também uma redução na qualidade da água (KUBITZA, 2017c) e podem ter sido influenciados pela matéria orgânica presente nesses locais. Conforme destaca Costa *et. al* (2021), menores concentração de oxigênio dissolvido, pode indicar que o oxigênio está sendo consumido no processo de decomposição da matéria orgânica pelo próprio ambiente aquático. Enquanto nos pontos E1 e S, possuem oxigenação aumentada a partir da maior movimentação da água.

5.3.3 Condutividade elétrica

Pelos resultados apresentados na Tabela 11, observa-se que a concentração média de condutividade elétrica apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para os fatores isolados períodos de escoamento (PEsc) e pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo).

Tabela 11 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de condutividade elétrica, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	<0,01	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,41	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	<0,01	36,22
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,01	
PDesxPo (Antes)	<0,01	
PDesxPo (Durante)	<0,01	
PDesxPo (Depois)	<0,01	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

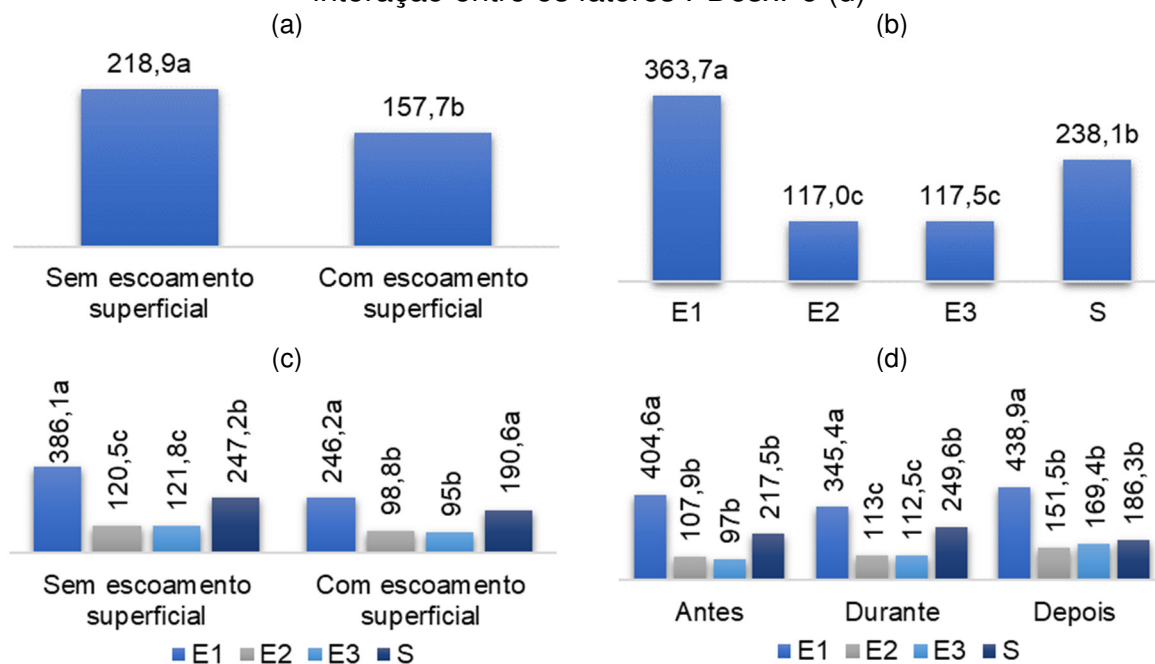
No fator isolado períodos de escoamento, a maior média de condutividade elétrica foi observada no período em que não houve escoamentos ($218,9 \mu\text{Scm}^{-1}$), sendo 38,8% superior à média do período com escoamento superficial ($157,7 \mu\text{Scm}^{-1}$) (Figura 32a). É possível verificar que a precipitação afeta a condutividade elétrica, pois, com o aumento das vazões, que provocam a diluição da carga poluidora, as médias das concentrações de CE diminuem. Em estudo realizado por Pinto (2021), a condutividade elétrica apresentada na água também foi inversamente proporcional ao volume de chuva acumulada.

Os resultados apresentados na Figura 32b, mostram que a maior média ocorreu no ponto E1 ($363,7 \mu\text{Scm}^{-1}$). De acordo com Cetesb (2020b), concentrações de condutividade elétrica entre 200 e $500 \mu\text{Scm}^{-1}$ sugerem tratar-se de corpo d'água afetado por cargas poluidoras.

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos de escoamento, todos os pontos apresentaram médias de CE superiores no período sem escoamento superficial (Figura 32c), com o ponto E1, apresentando maior média que os demais pontos. No período com escoamento superficial, o ponto E1 não se diferenciou do ponto S. Obteve-se maior valor de CE no ponto E1, uma vez que este possui uma

extensa área de urbanização e solo exposto em sua bacia, assim como o lançamento clandestino de esgoto. O solo exposto contribui para o direcionamento de partículas sólidas para os cursos d'água, elevando os valores de condutividade elétrica (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

Figura 32 - Médias da concentração de condutividade elétrica (μScm^{-1}), em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PEscxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

Analisando a interação períodos do desassoreamento e pontos, houve significância estatística nos três instantes (Figura 32d), sendo a média do ponto E1 superior à dos demais pontos. Nos períodos antes e depois, a média observada no ponto S não se diferenciou dos pontos E2 e E3. Os altos valores de condutividade elétrica indicam que o corpo hídrico está sendo impactado por cargas poluidoras.

5.3.4 Amônia total

5.2.4.1 Amônio

A variável amônio, apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator isolado pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de amônio, em função dos fatores avaliados

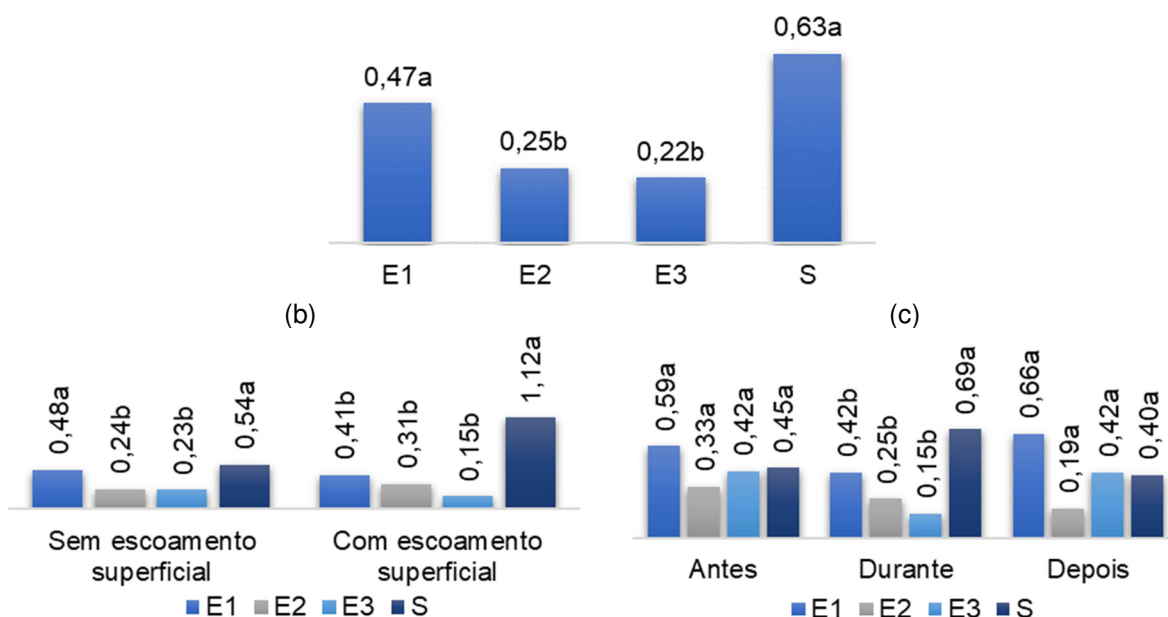
Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,26	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,84	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	0,03	105,64
PEscxPo (Com escoamento superficial)	<0,01	
PDesxPo (Antes)	0,89	
PDesxPo (Durante)	<0,01	
PDesxPo (Depois)	0,58	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a concentração de a NH_4^+ no fator isolado pontos, as maiores médias encontram-se nos pontos E1 e S. A média entre esses dois pontos ($0,55 \text{ mgL}^{-1}$) é 133,2% maior que a média dos pontos E2 e E3 ($0,23 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 33a).

Figura 33 - Médias da concentração de amônio (mgL^{-1}), em função do fator Po(a), da interação entre os fatores PEscxPo (b) e da interação entre os fatores PDesxPo (c)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

Observando o desdobramento dos pontos nos períodos de escoamento (Figura 33b), percebe-se que houve diferença significativa e o ponto S apresentou a maior média no período com escoamento, mas não diferenciando do ponto E1 no período sem escoamento superficial. No estudo realizado por Sarmiento (2019), não foi apresentada diferença espacial e sazonal estatisticamente significativa nas

médias de concentração de NH_4^+ , porém no período chuvoso, obteve-se as maiores concentrações, assim como nos trabalhos de Mitsuya (2014) e Silva (2013).

No fator interação períodos do desassoreamento e pontos (Figura 33c), houve significância estatística apenas durante a escavação, sendo que a maior média também foi no ponto S ($0,69 \text{ mgL}^{-1}$), equivalendo a 154,1% superior que a média entre os pontos a montante ($0,27 \text{ mgL}^{-1}$). Concentrações altas de NH_4^+ pode intervir nos organismos aquáticos, uma vez que com pH elevado, o amônio se transforma em amônia (NH_3), se tornando tóxica para os peixes (KUBITZA, 2017b).

5.2.4.2 Amônia

A concentração média de amônia na água apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) para o fator isolado pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 13).

Tabela 13 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de amônia, em função dos fatores avaliados

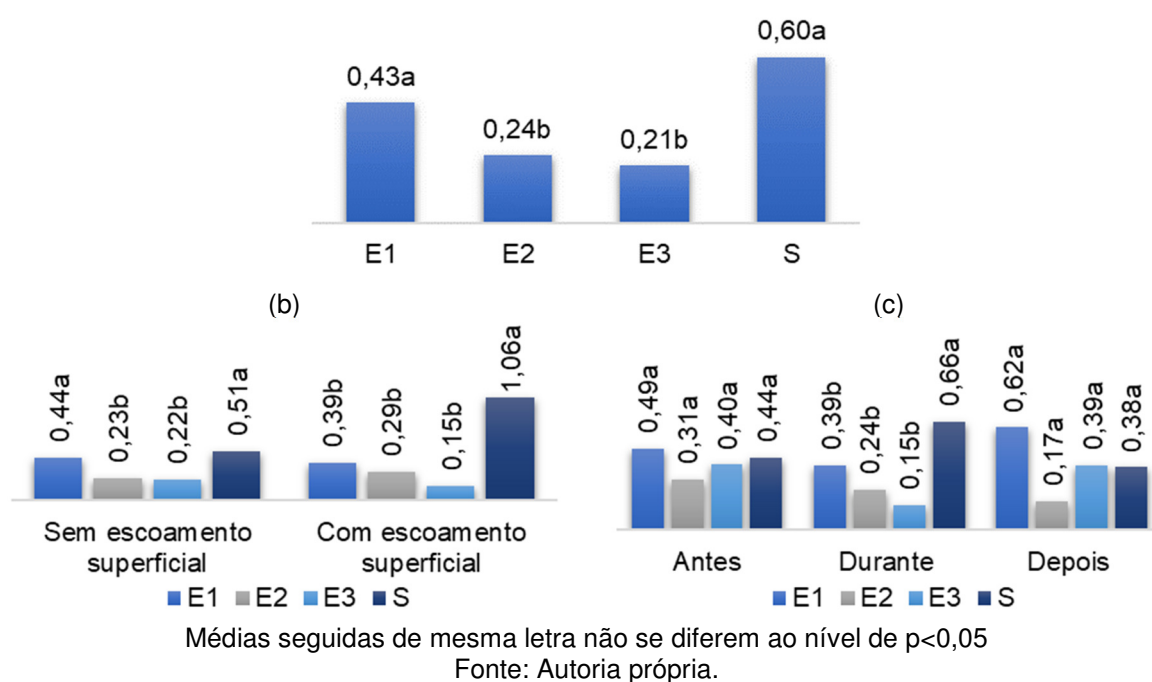
Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,26	
Períodos do desassoreamento (PDes)	0,91	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	0,03	104,57
PEscxPo (Com escoamento superficial)	<0,01	
PDesxPo (Antes)	0,95	
PDesxPo (Durante)	<0,01	
PDesxPo (Depois)	0,56	

p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação
Fonte: Autoria própria.

Os resultados da concentração média de amônia são semelhantes aos de amônio apontados no item anterior. Analisando o fator isolado pontos, as maiores médias encontram-se nos pontos E1 e S. A média entre esses dois pontos ($0,52 \text{ mgL}^{-1}$) é 129,7% superior que a média dos pontos E2 e E3 ($0,22 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 34a). De acordo com Kubitza (2017b), a amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos organismos aquáticos, valores acima de $0,20 \text{ mgL}^{-1}$ já são suficientes para induzir toxicidade crônica e influenciar no crescimento dos peixes, assim como aumentar a probabilidade de adquirir doenças.

Para o fator interação períodos de escoamento e pontos (Figura 34b), no período sem escoamento superficial, o ponto S não se diferenciou do ponto E1 e no período com escoamento, o ponto a jusante (S) apresentou maior concentração média que os pontos a montante, sendo 285,5% superior. Em ambientes naturais, a NH_3 pode originar-se da chuva, do material orgânico e inorgânico do entorno e da fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago (PEREIRA; MERCANTE, 2018).

Figura 34 - Médias da concentração de amônia (mgL^{-1}), em função do fator Po(a), da interação entre os fatores P_{EscxPo} (b) e da interação entre os fatores P_{DesxPo} (c) (a)



No desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, houve significância estatística entre os pontos no período durante o desassoreamento (Figura 34c), sendo que a maior concentração média foi no ponto S ($0,66 \text{ mgL}^{-1}$), correspondendo a 151,9% maior que as médias dos pontos E1, E2 e E3 ($0,26 \text{ mgL}^{-1}$).

Os valores encontrados, com algumas médias acima de $0,60 \text{ mgL}^{-1}$ são considerados valores que colocam em risco a vida de organismos aquáticos, porém a susceptibilidade à intoxicação varia em função da espécie, das condições de qualidade de água e de saúde dos animais, entre outros fatores (KUBITZA, 2017b).

A determinação da forma que o nitrogênio se encontra no local, pode fornecer informações sobre o estágio da poluição de um corpo d'água. Uma poluição recente é caracterizada pela concentração em forma de NH_3 (VON SPERLING, 2014).

5.4 VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

5.4.1 Coliformes totais

Para a concentração média dos coliformes totais houve significância estatística ($p < 0,05$) nos fatores isolados períodos do desassoreamento (PDes) e pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de coliformes totais, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,37	
Períodos do desassoreamento (PDes)	<0,01	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	0,01	65,44
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,13	
PDesxPo (Antes)	0,99	
PDesxPo (Durante)	0,04	
PDesxPo (Depois)	<0,01	

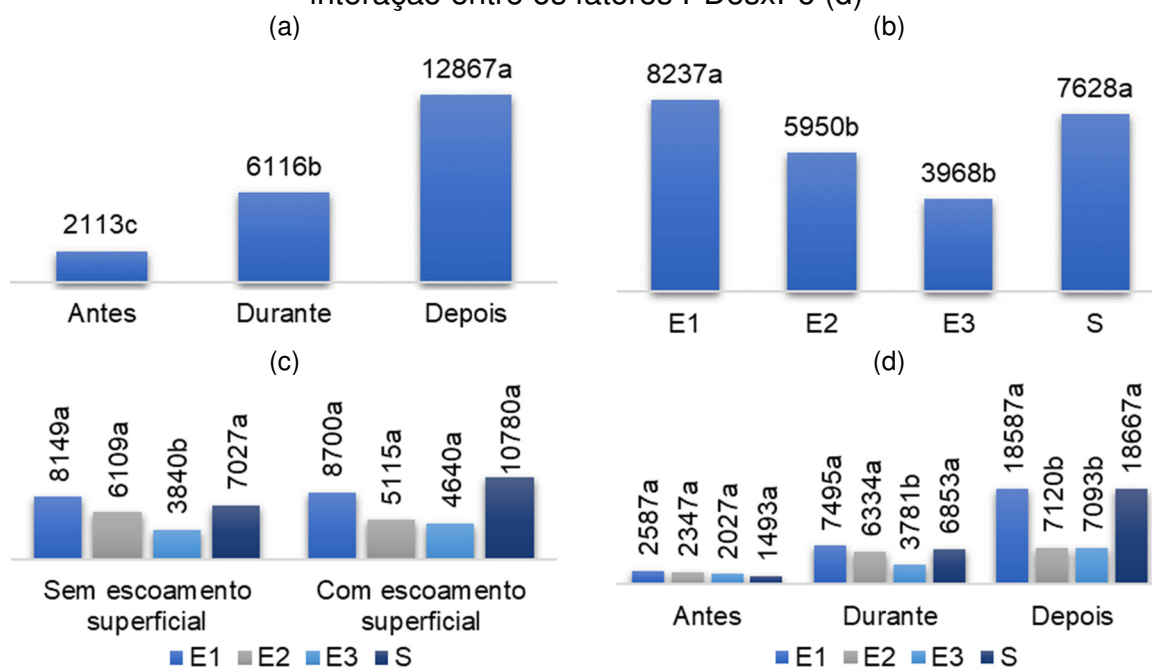
p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Os resultados da concentração média de CT nos períodos do desassoreamento mostram que a média aumentou após o início da obra. Comparando a média de antes com as médias encontradas durante e depois, houve um incremento de 189,4% e 508,8%, respectivamente (Figura 35a). O aumento significativo depois do início da obra, pode estar relacionado com o revolvimento do material que estava decantado, pelo maquinário.

Ao comparar os resultados pelo fator isolado pontos (Figura 35b), as maiores concentrações médias foram encontradas nos pontos E1 e S, sendo sua média (7.932 UFC/100 mL) 60% superior à média entre os pontos E2 e E3 (4.959 UFC/100 mL). A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não possui limite estabelecido para coliformes totais em corpos hídricos classe 4.

Figura 35 - Médias da concentração de coliformes totais (UFC/100 mL), em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PEscxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos de escoamento, verificou-se que a concentração média de CT foi inferior no ponto E3, somente no período sem escoamento. No período com escoamento superficial não foram observadas diferenças significativas (Figura 35c).

No fator interação períodos do desassoreamento e pontos (Figura 35d) foram observadas diferenças significativas, durante e depois do término da escavação. Depois do desassoreamento, as maiores concentrações médias foram nos pontos E1 e S, sendo que a média desses dois pontos (18.627 UFC/100 mL) foi 162,1% superior em relação à média dos pontos E2 e E3 (7.107 UFC/100 mL). No instante durante o desassoreamento, o ponto E3 obteve a menor média (3.781 UFC/100 mL) entre os pontos.

Em todos os pontos amostrados foram encontrados indícios de contaminação, comprovando-se pela alta concentração de coliformes totais amostrada. No ponto E1 há grande contribuição de carga de resíduos pela drenagem pluvial da área urbana, além de possuir lançamento clandestino de esgoto e presença de animais como equinos e bovinos. Enquanto o ponto E2, possui difusão de cargas de resíduos da área rural em sua maior parte, possuindo também animais em suas margens, que utilizam esses pontos para dessedentação. A área

urbanizada na bacia do ponto E3 contribui para sua contaminação e o ponto S, recebe a propagação da poluição de todos os pontos juntos.

5.4.2 Bactérias termotolerantes (*E. coli*)

A concentração média de *E. coli* apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nos fatores isolados períodos do desassoreamento (PDes) e pontos (Po) e nas interações entre fatores períodos de escoamento e pontos (PEscxPo) e fatores períodos do desassoreamento e pontos (PDesxPo) (Tabela 15).

Tabela 15 - Resultado da análise de variância e teste de comparação de médias da concentração de *E. coli*, em função dos fatores avaliados

Fator	p	CV (%)
Períodos de escoamento (PEsc)	0,14	
Períodos do desassoreamento (PDes)	<0,01	
Pontos (Po)	<0,01	
PEscxPo (Sem escoamento superficial)	<0,01	79,54
PEscxPo (Com escoamento superficial)	0,12	
PDesxPo (Antes)	0,90	
PDesxPo (Durante)	0,03	
PDesxPo (Depois)	<0,01	

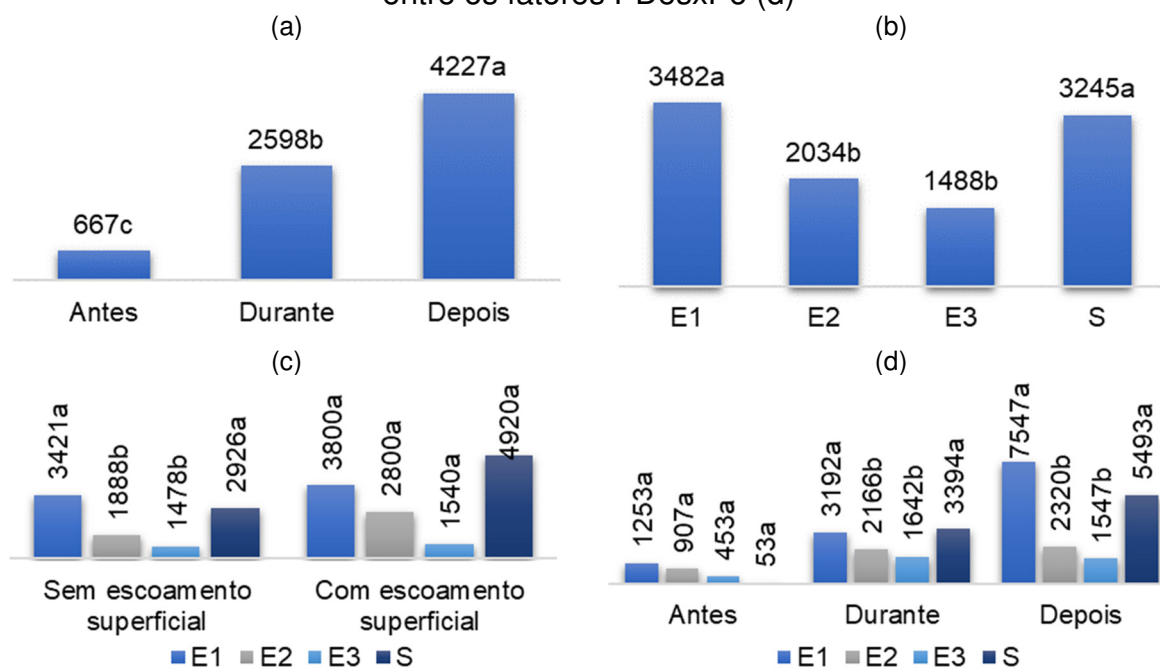
p: probabilidade de significância, CV: coeficiente de variação

Fonte: Autoria própria.

Seguindo as mesmas características dos resultados apresentados em coliformes totais, no fator isolado períodos do desassoreamento, observou-se um aumento na média da concentração de *E. coli* após o início da obra (Figura 36a). Comparando a concentração da média de antes com as médias encontradas nos instantes durante e depois, houve um incremento de 289,8% e 534,0%, respectivamente.

Para os resultados do fator isolado pontos, as maiores médias foram encontradas nos pontos E1 e S, sendo sua média (3.363 UFC/100 mL) 91% maior que a média entre os pontos E2 e E3 (1.761 UFC/100 mL) (Figura 36b). Assim como para coliformes totais, a legislação vigente não possui limite estabelecido para concentração máxima de *E. coli* em corpos hídricos classe 4 (BRASIL, 2005), porém os valores encontrados são considerados altos.

Figura 36 - Médias da concentração de *E. coli* (UFC/100 mL), em função do fator PDes (a), do fator Po (b), da interação entre os fatores PEscxPo (c) e da interação entre os fatores PDesxPo (d)



Médias seguidas de mesma letra não se diferem ao nível de $p < 0,05$

Fonte: Autoria própria.

Para o fator interação entre períodos de escoamento e pontos, foi observada diferença significativa no período sem escoamento superficial, onde a média dos pontos E1 e S (3.173 UFC/100 mL) foi superior à média dos pontos E2 e E3 (1.683 UFC/100 mL) em 88,6% (Figura 36c).

No desdobramento dos pontos dentro dos períodos do desassoreamento, houve significância estatística durante e depois do término da escavação, em que as médias dos pontos E1 e S se apresentaram superiores (Figura 36d). Durante a escavação, a concentração média desses dois pontos em relação à média entre E2 e E3, foi 72,9% maior e, no período depois da escavação, 237,2% maior.

De acordo com Cetesb (2020b), as condições ambientais influenciam nos valores de *E. coli* e elevadas concentrações indicam uma contaminação fecal recente, o que possivelmente se deve pela presença de animais nos pontos de amostragem, que utilizam a água para dessedentação, assim como o lançamento de efluentes de esgoto clandestino no ponto E1.

5.5 MODELAGEM MATEMÁTICA ESCAVAÇÃO-VARIÁVEIS HÍDRICAS

Pelo resultado do teste de Correlação Cruzada de Pearson, verificou-se que houve correlação significativa somente para a variável hídrica condutividade elétrica em função da variação de volume de sedimentos removidos (Tabela 16).

Tabela 16 - Resultado da correlação cruzada, ao nível de 5% de significância

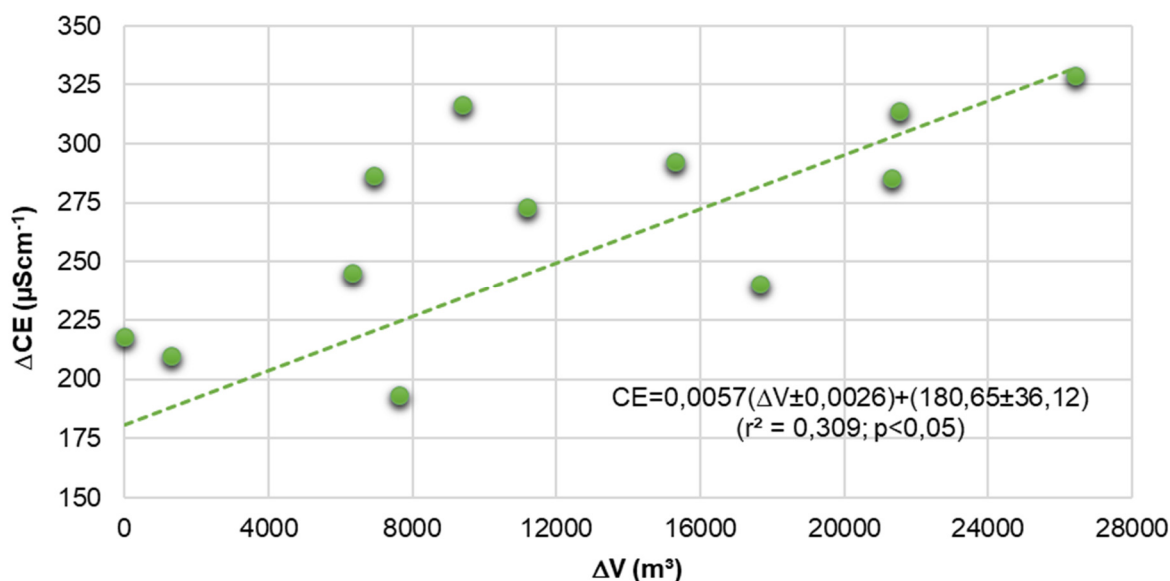
Variáveis	Varição de volume de sedimentos removidos (ΔV)	Varição da área de espelho de água (ΔEA)	Varição da altura média de escavação (ΔH)
Sólidos totais (ST)	-0,151	0,014	-0,008
Sólidos dissolvidos (SD)	-0,144	0,030	-0,172
Sólidos suspensos (SS)	0,019	-0,049	0,452
Condutividade elétrica (CE)	0,556*	0,380	0,534
Potencial hidrogeniônico (pH)	-0,149	0,079	-0,324
Temperatura da água (T)	0,042	0,064	0,175
Amônio (NH_4^+)	-0,320	-0,090	-0,310
Amônia (NH_3)	-0,325	-0,093	-0,311
Oxigênio dissolvido (OD)	-0,100	-0,284	0,319
Bactérias termotolerantes (<i>E. coli</i>)	-0,205	-0,332	0,428
Coliformes totais (CT)	-0,252	-0,320	0,290

*Correlação é significativa no nível 0,05.

Fonte: Autoria própria.

O modelo de melhor ajuste obtido de CE em função de ΔV , foi linear ($r^2=0,309$ e $p<0,05$) (Figura 37), em que, segundo Hopkins (2000), o valor do coeficiente de determinação (r^2) adquirido, indica uma moderada relação entre as duas variáveis.

Figura 37 - Regressão linear de ΔCE (variação de condutividade elétrica), em função de ΔV (variação de volume de sedimentos removidos)



r^2 : coeficiente de determinação, p : probabilidade de significância

Fonte: Autoria própria.

A partir do modelo, foi constatado que no período de menor rendimento de escavação ($\Delta V = 1.284 \text{ m}^3$), a condutividade elétrica esperada na água é de 152 a 224 μScm^{-1} , ao passo que no intervalo de maior rendimento de volume escavado ($\Delta V = 26.412 \text{ m}^3$), a condutividade elétrica esperada na água é de 295 e 367 μScm^{-1} . Portanto, espera-se um incremento médio de 1 μScm^{-1} de CE na água para cada 175 m^3 de sedimentos removidos, a mais, por escavação.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

- A dinâmica da remoção dos sedimentos apresentou dois períodos distintos, cuja necessidade de construção de acessos, devido à instabilidade do terreno causada pela umidade do solo, associado à precipitação ocorrida, reduziu o rendimento operacional em 59,6% do volume removido.
- Durante o trabalho de escavação, houve impactos negativos nas variáveis hídricas amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3), promovendo incremento médio de 154,1% na concentração de NH_4^+ e de 151,9% na concentração de NH_3 . As outras variáveis hídricas qualitativas analisadas (T, ST, SD, SS, pH, OD, CE, CT e *E. coli*) foram influenciadas por outros fatores diferentes da escavação (uso e ocupação na bacia hidrográfica de montante e/ou fatores climáticos).
- A dinâmica da escavação apresentou correlação somente com a condutividade elétrica da água, com o melhor ajuste no modelo linear, resultando em expectativa de incremento médio de $1 \mu\text{Scm}^{-1}$ para cada 175 m^3 removidos, durante a operação.
- Diante dos resultados desta pesquisa, considerando que a única variável hídrica qualitativa impactada (amônia total $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$), já possuía médias consideradas nocivas também antes da obra, e, tendo em vista a importância histórica, paisagística, cultural e turística desse reservatório de água para a qualidade de vida da população fernandopolense, a operação de desassoreamento foi satisfatória.
- Para minimizar problemas futuros novos com assoreamento no reservatório, após a completa conclusão do desassoreamento com a etapa de dragagem, recomenda-se a restauração das áreas de preservação permanente (APP) de montante, melhoria da varrição pública, para reduzir o transporte de resíduos sólidos diversos para o curso d'água, controle da criação de bovinos e equinos nas APP, contenção de lançamentos pontuais clandestinos e promover educação ambiental contínua da população nos bairros localizados na bacia de drenagem, para conscientização.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. S. **Análise experimental em modelo físico de estruturas hidráulicas de remoção de sedimentos em barragens: Descarregadores de fundo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.
- ABU, A.; CARREY, R.; VALHONDO, C.; DOMÈNECH, C.; SOLER, A.; MARTÍNEZ-LANDA, L.; DIAZ-CRUZ, S.; CARRERA, J.; OTERO, N. Pathways and efficiency of nitrogen attenuation in wastewater effluent through soil aquifer treatment. **Journal of Environmental Management**, v. 321, p. 115927, 2022.
- ALENCAR, V. E. S. A.; ROCHA, E. J. P. da; JÚNIOR, J. A. de S.; CARNEIRO, B. S. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará – Belém – PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661–680, 2019.
- ALVES, A. R.; MANSANO, C. F. M.; VANZELA, L. S.; FRIAS, D. F. R.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Water quality in the Tietê River watershed, São Paulo State, Brazil. **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 2, p. 44566–44570, 2021.
- AMÂNCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. de P. V.; VIOLA, M. R.; DE MELLO, C. R. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 75–86, 2018.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistemas de Informação na gestão de águas: conhecer para decidir**. Brasília: Agência Nacional de Águas (Brasil), v. 8. 2016.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn2. Acesso em: 4 abr. 2022.
- ANDRADE, L. C. de; FERREIRA, I. O.; SANTOS, F. C. M.; TEIXEIRA, V. G. Estimativa do grau de assoreamento de reservatórios de captação de água: estudo de caso: reservatório da hidráulica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 40–55, 2020.
- BELÉM, F. L. **Influência das variáveis ambientais na qualidade das águas do reservatório da Usina Hidrelétrica da Ferreira Gomes – Amapá**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.
- BRASIL. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. 1. ed. Brasília: Funasa, 2014.

BUOSI, G. G. P. **Relatório Técnico Pró-Atividade US: Processos eodinâmicos e desassoreamento da Represa Municipal de Fernandópolis - SP**. Fernandópolis: Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Prefeitura Municipal de Fernandópolis, 2021.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CETESB. **Autorização CETESB nº 44663/2020**. CETESB/CFJ - Agência Ambiental de Jales, 2020a.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2020b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

CETESB. **Mortandade de peixes - Oxigênio Dissolvido**. 2022a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/>. Acesso em: 1 out. 2022.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2021**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2022b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 03 set. 2022.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2. ed. London: E&FN Spon, 1996.

CHEN, J.; LI, W.; QIAO, P.; LI, Y.; ZHENG, K.; WANG, Y.; DONG, X.; WANG, S.; TAN, L.; CHU, F.; FANG, N.; ZENG, Y.. Characterizing ammonia emissions from water bodies using dynamic floating chambers. **Science of the Total Environment**, v. 796, n. 148978, 2021.

CHEN, R. S.; TSAI, C. M. Development of an Evaluation System for Sustaining Reservoir Functions—A Case Study of Shiwen Reservoir in Taiwan. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 7–10, 2017.

CIIAGRO. **Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>. Acesso em: 24 abr. 2022.

COSTA, K. A.; COL, A. D.; VENTURA, A. C. T.; GUMY, M. N.; WEINERT, P. L.; SCHEFFER, E. W. de O. Influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água em lagos urbanos: um estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 19889–19907, 2021.

COSTA, S. B.; FILHO, G. S. DE A.; GIUDICE, S. L.; HELLMEISTER JR., Z.; Panorama do Desassoreamento nos Rios Tietê e Pinheiros, São Paulo/SP, Brazil.

XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/Ministério de Minas e Energia, 2006.

DE JONGE, M.; BELPAIRE, C.; GEERAERTS, C.; DE COOMAN, W.; BLUST, R.; BERVOETS, L. Ecological impact assessment of sediment remediation in a metal-contaminated lowland river using translocated zebra mussels and resident macroinvertebrates. **Environmental Pollution**, v. 171, n. 2012, p. 99–108, 2012.

DENAMUR, E.; CLERMONT, O.; BONACORSI, S.; GORDON, D. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. **Nature Reviews Microbiology**, v. 19, n. 1, p. 37–54, 21 jan. 2021.

ERFTEMEIJER, P. L. A.; LEWIS, R. R. R. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 12, p. 1553–1572, 2006.

GIUDICE, S. L.; M., J. A. R.; MOREIRA, J. B.; MENDES, A. da S. Aspectos operacionais do desassoreamento do Rio Tietê em São Paulo, Brasil. Anais do XXVIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica. **Anais...**Buenos Aires, Argentina: Asociación Internacional de Ingeniería e Investigaciones Hidro-Ambientales, 2018.

GUIMARÃES, A. G.; DO PRADO, F. S.; SANTOS, G. O.; DINIZ, R. G.; MARASCA, I.; MAIA, C. H. Qualidade Da Água E Potencial De Assoreamento Em Represas Com Influência De Diferentes Usos Do Solo. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 3, p. 125–139, 2018.

GUIMARÃES, T. T. **Utilização de imagens de satélite para predição de clorofila-a e sólidos suspensos em corpos d'água: estudo de caso da Represa do Lobo/SP**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

HEINRICH, A. B.; METZGER, J. W.; FISCHER, K. M.; MATHIAS, A. L. Gerenciamento de sedimentos do desassoreamento do Rio belém na área urbana de Curitiba: Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 626–636, 2015.

HOPKINS, W. G. **A New View of Statistics**. 2000. Disponível em: <https://sportscience.sportsci.org/resource/stats>. Acesso em: 22 nov. 2022.

HORÁCIO, Q. H. F. Citações da Cultura Universal. In: VILLAMARÍN, A. J. G. **Citações da Cultura Universal**. Editora AGE Ltda, 2002. p. 28.

HORDONES, N. C. DE O. **Avaliação da qualidade da água por meio de índices numéricos: um estudo de caso do córrego Brejo Alegre em Araguari (MG)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama - População Fernandópolis**. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/fernandopolis/panorama>. Acesso em: 29 jul. 2022.

ICOLD - International Commission On Large Dams. **World Register of Dams: General Synthesis**. Disponível em: https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp. Acesso em: 2 nov. 2022.

JIANG, W.; Li, W.; ZHOU, J.; WANG, P.; XIAO, H. Drone-based investigation of natural restoration of vegetation in the water level fluctuation zone of cascade reservoirs in Jinsha River. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–21, 2022.

KHATRI, N.; KHATRI, K. K.; SHARMA, A. Artificial neural network modelling of faecal coliform removal in an intermittent cycle extended aeration system-sequential batch reactor based wastewater treatment plant. **Journal of Water Process Engineering**, v. 37, 2020.

KUBITZA, F. A água na aquicultura - parte 2. **Panorama da AQUICULTURA**, v. 27, n. 163, p. 14–21, 2017a.

KUBITZA, F. A água na aquicultura - parte 3. **Panorama da AQUICULTURA**, v. 27, n. 164, p. 14–27, 2017b.

KUBITZA, F. A água na aquicultura - parte 1. **Panorama da AQUICULTURA**, v. 27, n. 162, p. 24–33, 2017c.

LEE, F. Z.; LAI, J. S.; SUMI, T. Reservoir Sediment Management and Downstream River Impacts for Sustainable Water Resources—Case Study of Shihmen Reservoir. **Water**, v. 14, n. 479, 2022.

MATEJ-ŁUKOWICZ, K.; WOJCIECHOWSKA, E.; STRYCHARZ, J.; SZUBSKA, M.; KULIŃSKI, K.; BEŁDOWSKI, J.; WINOGRADOW, A. Can bottom sediments be a prospective fertilizing material? A chemical composition analysis for potential reuse in agriculture. **Materials**, v. 14, n. 24, p. 1–20, 2021.

MENDES, T. A.; ALVES, F. C. R.; FERREIRA, D.; MENDES, D.; CUBA, R.M. F. Avaliação de diferentes técnicas de medição do oxigênio dissolvido para o saneamento básico. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 10, n. 1, p. 406–426, 2021.

MITSUYA, M. **Variação sazonal na composição química da água no leito principal do Rio Amazonas em frente à Cidade de Óbidos – PA**. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2014.

MONTOVANI, C. P. **Condutividade elétrica e cloretos como indicador da qualidade de água**. 2021. Tese (Doutorado em Tecnologia, na Área Ambiente) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2021.

MORRIS, G. L. Classification of management alternatives to combat reservoir sedimentation. **Water**, v. 12, n. 861, p. 124, 2020.

NOGUEIRA, F. F. **Métodos de monitoramento e estimativa de cargas poluidoras difusas em bacias hidrográficas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

OLIVEIRA, C. E. M. DE. A pré-história de Fernandópolis e região. In: Prefeitura de Fernandópolis (Ed.). **Fernandópolis nossa história, nossa gente**. II ed. São Paulo: Anglo S/A, 2012. p. 338–364.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. Ammonia in Fish Breeding Systems and Its Effects on the Water Quality – a Review. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81–88, 2018.

PINTO, C. C. **Monitoramento de qualidade de água baseado em análise por componentes principais: uma abordagem local**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. DOS S.; SILVA, D. D. DA. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

REMINI, B. Sustainable desilting of dams. **Larhyss Journal**, v. 2022, n. 51, p. 211–236, 2022.

ROCHA, J. D. N.; SILVA, R. P. DA. Intervenções em corpos hídricos e alterações no meio geográfico: o desassoreamento do canal do Piató – Assú, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Geonorte**, v. 12, n. 39, p. 253–276, 12 jul. 2021.

ROLIM, G. DE S.; DE CAMARGO M. B. P.; LANIA, D. G.; DE MORAES, J. F. L. Classificação climática de Kppen e Thorntwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agrolimáticas para SP. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SÁ, M. Y. M. de. **Contribuição para a melhoria da qualidade da água proveniente do cultivo de tilápias em pequenos tanques**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SAITO, Y. K. **Processo de assoreamento em reservatórios de barragens. Estudo de caso: Lago do Rio Piumhi – MG**. 2020. Dissertação (Magister Scientiae) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Maceió, 2020.

SANTOS, A. P. R. DOS; MONTEIRO, L. R. L. DE. Determinação da qualidade microbiológica da água em nascente da Unidade de Conservação em Filadélfia Tocantins. **Revista Desafios**, v. 5, n. Especial, p. 74–86, 31 out. 2018.

SÃO PAULO. **Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468 (1), de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Governo do

Estado de São Paulo, Brasil, 1977.

SARMENTO, I. C. C. **Dinâmica do Nitrato, Amônio e Nitrogênio Total Dissolvido no estuário Guajarino**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

SCHLEISS, A. J.; FRANCA, M. J.; JUEZ, C. DE C., Giovanni Reservoir sedimentation. **Journal of Hydraulic Research**, v. 54, n. 6, p. 595–614, 2016.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507–512, 1974.

SHEN, H. W. Flushing sediment through reservoirs. **Journal of Hydraulic Research**, v. 37, n. 6, p. 743–757, 1999.

SHI, P.; ZHANG, Y.; LI, Z.; LI, P.; XU, G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **Catena**, v. 151, p. 182–190, 2017.

SILVA, F. P. DA et al. **Impacto do desassoreamento na intrusão salina em rios estuarinos urbanos: estudo de caso do rio Cubatão, SP**. Encontro Nacional de Águas Urbanas. **Anais...Maceió - AL: 2018**.

SILVA, M. DO S. R. DA. **Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para enquadramento e preservação**. 2013. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Relatório sobre os esclarecimentos e justificativas da situação da qualidade dos mananciais da bacia hidrográfica do Córrego da Aldeia e as ações de recuperação ambiental**. Prefeitura Municipal de Fernandópolis, Fernandópolis: 2021.

SMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Incêndios reduzem 32,5% em 2021 no município de Fernandópolis**. Disponível em: <https://fernandopolis.sp.gov.br/noticias/meio-ambiente/incendios-reduzem-325-em-2021-no-municipio-de-fernandopolis->. Acesso em: 12 ago. 2022.

SMITH, W. S.; SILVA, F. L. DA; BIAGIONI, R. C. Desassoreamento de rios: Quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. **Ambiente e Sociedade**, v. 22, p. 1–20, 2019.

STORTO, D.; NARA, L.B. C.; KOZUSNY-ANDREANI, D. I.; VANZELA, L. S.; MANSANO, C. F. M.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Seasonal Dynamics of Microbial Contamination and Antibiotic Resistance in the Water at the Tietê Ecological Park, Brazil. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, n. 257, 18 jul. 2021.

TAFFARELLO, D.; MOHOR, G. S.; CALIJURI, M. DO C.; MENDIONDO, E. M. Field investigations of the 2013–14 drought through quali-quantitative freshwater monitoring at the headwaters of the Cantareira System, Brazil. **Water International**, v. 41, n. 5, p. 776–800, 28 jul. 2016.

TOMCZYK-WYDRYCH, I.; SWIERCZ, A. Methods of management of bottom sediments from selected water reservoirs - A literature review. **Geologos**, v. 27, n. 2, p. 127–134, 2021.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VANZELA, L. S. Evolução da paisagem do município de Fernandópolis (SP). In: Prefeitura de Fernandópolis (Ed.). **Fernandópolis nossa história, nossa gente**. II ed. São Paulo: Anglo S/A, 2012. p. 246–266.

VANZELA, L. S.; GRECCO, D. L. G.; NETO, J. N. DA C.; SANTOS, G. O. Evaluation of sediment production and siltation in a small earth dam in Fernandópolis, SP. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 912–924, 2014.

VANZELA, L. S.; RAMOS, E. B.; PALMA, B.; GEROMINI, A. M.; MANSANO, C. F. M. Justiça climática no antropoceno. In: **Justiça climática no antropoceno**. Muzambinho: IFSULDEMINAS, 2022. p. 127–138.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2014.

WISSER, D.; FROLKING, S.; HAGEN, S.; BIERKENS, M. F. P. Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoirs. **Water Resources Research**, v. 49, n. 9, p. 5732–5739, 2013.

WU, C.-W.; CHOU, F. N.-F.; LEE, F.-Z. Minimizing the impact of vacating instream storage of a multi-reservoir system: a trade-off study of water supply and empty flushing. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 25, n. 4, p. 2063–2087, 19 abr. 2021.

ZARPELON, M. E.; AZEVEDO, C. R. Desenvolvimento de um sistema para monitoramento de assoreamento de reservatórios hidroelétricos. **Unoesc & Ciência – ACET**, v. 9, n. 1, p. 31–40, 2018.