



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Iero Xavier de Paula

**Segurança hídrica para abastecimento urbano perante
condições ambientais e qualidade da água do manancial:
o caso da ETA Guandu, RMRJ**

Rio de Janeiro

2022

Iero Xavier de Paula

Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Recursos Hídricos.



Orientadora: Prof. Rosa Maria Formiga Johnsson

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P324 Paula, Iero Xavier de.
Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ / Iero Xavier de Paula. – 2022.
180f.

Orientadora: Rosa Maria Formiga Johnsson.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Estações de tratamento - Teses. 3. Água - Qualidade - Teses. 4. Guandu, Rio, Bacia (RJ) - Teses. 5. Paraíba do Sul, Rio, Bacia - Teses. I. Johnsson, Rosa Maria Formiga. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628.161.1

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Iero Xavier de Paula

Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovado em 18 de novembro de 2022.

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson (Orientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dra. Rosane Cristina de Andrade
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família que sempre me incentivou a estudar.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson pela dedicação e orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora, pelo tempo dedicado em realizar as correções, pelas valiosas colaborações, sugestões e por terem contribuído para realização deste trabalho.

Aos professores e colaboradores da UERJ, pelo tempo concedido e suporte durante essa jornada, em meio à pandemia, se esforçaram para manter a qualidade das aulas.

Aos colegas de turma, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas, principalmente a Luiz Eduardo, Maria Clara e Frederico pelo apoio emocional e incentivo durante essa jornada pelo qual passamos num período pandêmico.

RESUMO

PAULA, Iero Xavier de. *Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ*. 2022. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Este trabalho analisa o nível de segurança hídrica do abastecimento do Oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), em termos de qualidade dos recursos hídricos no ponto de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu, perante estressores envolvendo as condições ambientais e a qualidade das águas do manancial. Buscou-se dar subsídios ao processo de gestão das águas e saneamento da área de influência da ETA Guandu, ao ressaltar, de forma sistêmica as principais questões que envolvem a sua segurança hídrica, em termos de qualidade de água, que deveriam ser prioritárias para as políticas públicas. A área de estudo compreende toda a área drenante ao ponto de captação da ETA, tanto da Bacia do rio Guandu quanto da Bacia do rio Paraíba do Sul a montante da transposição. Para tanto, foi aplicado um modelo analítico de avaliação qualitativa de segurança hídrica, adaptado ao caso da ETA Guandu, perante estressores considerados como de maior risco para a qualidade da água no ponto de captação: “uso e cobertura da terra”, “degradação de Área de Preservação Permanente (APP)”, “processos erosivos”, “acidentes ambientais” e “carga poluidora”. Concluiu-se ser baixo o nível atual de segurança hídrica da ETA Guandu, em termos de qualidade de água, sendo os problemas relacionados à Lagoa do Guandu os mais graves, não somente pela poluição crônica que tem se agravado ao longo das décadas, mas sobretudo pela intensa poluição aguda que provocou crises hídricas em 2020 e 2021.

Palavras-chave: Segurança hídrica. Abastecimento público. Qualidade da água. Condições ambientais. Bacia do rio Guandu. Bacia do rio Paraíba do Sul. Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro.

ABSTRACT

PAULA, Iero Xavier de. *Water security for urban supply in the face of environmental conditions and water quality in hydrographic basins: the case of ETA Guandu*, MRRJ. 2022. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

This research analyzes the level of water security in the West Metropolitan Region of Rio de Janeiro, in terms of water resources quality at the intake point of the Water Treatment Plant (WTP) Guandu, related to the environmental conditions and the water quality of the supply sources. It sought to provide subsidies for water management and sanitation in the upstream catchment area of Guandu Water Treatment Plant (Guandu WTP), by systematically highlighting the main water resource security issues in terms of water quality, which should be a priority for water policy and management. The study area comprises the water catchment area from the water intake point in the Guandu River and also in the Paraíba do Sul River Basin upstream of the water transfer. We used an analytical model of water security, adapted to the case of ETA Guandu, to qualitatively assess the risk associated with the strongest stressors for water quality at the catchment point: “land use and cover”, “degradation of Area of Permanent Preservation (APP)”, “erosion processes”, “environmental accidents” and “polluting load”. The results indicate that the current level of water security at ETA Guandu is low, in terms of water resources quality. It also showed that the problems related to *Lagoa do Guandu* are the most serious, not only because of the chronic pollution that has worsened over the decades, but above all because of the intense acute pollution that caused water crises in 2020 and 2021.

Keywords: Water security. Public supply. Water quality. Environmental conditions. Guandu River Basin. Paraíba do Sul River Basin. Metropolis of Rio de Janeiro Metropolitan West.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região abastecida pela ETA Guandu na RMRJ	23
Figura 2 – As quatro dimensões de segurança hídrica do Plano Nacional de Segurança Hídrica do Brasil	28
Figura 3 – Componentes da avaliação global de segurança hídrica para o abastecimento urbano e o recorte de estudos sobre segurança da oferta de água bruta (tracejado vermelho).....	30
Figura 4 - Modelo analítico de avaliação da segurança hídrica global para o Sistema Guandu/abastecimento do oeste metropolitano da RMRJ, sob a perspectiva da gestão dos recursos hídricos.....	33
Figura 5 - Matriz de determinação de vulnerabilidade.....	37
Figura 6 - Área de estudo: Bacia do rio Paraíba do Sul a montante da transposição (tracejado amarelo) e Bacia do rio Guandu a montante do ponto de captação da ETA Guandu (tracejado verde)	38
Figura 7 - Esquema geral do aproveitamento hidroelétrico dos rios Paraíba do Sul, Pirai e Ribeirão das Lajes	41
Figura 8 - Unidades Hidrológicas de Planejamento que constituem área de estudo na Bacia do rio Guandu	43
Figura 9 – Local de captação da ETA Guandu	45
Figura 10 - Esquema geral da ETA Guandu e de sua ampliação, prevista para conclusão em 2025	48
Figura 11 - Quantidade de trabalhos acadêmicos sobre o rio Guandu encontrados nas Plataformas <i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> e <i>BDTD</i> , para o ano de 2021	52
Figura 12 - Quantidade de trabalhos acadêmicos sobre o rio Guandu, por tema, para o ano de 2021..	52
Figura 13 - Modelo analítico adaptado para avaliação do nível atual de segurança hídrica da qualidade da água bruta no ponto de captação da ETA Guandu, RJ, para o ano de 2022.....	54
Figura 14 - Uso e Cobertura da terra da Bacia do Paraíba do Sul, trecho a montante da transposição, para o ano de 2020	65
Figura 15 - Uso e Cobertura da Bacia do Guandu, para o ano de 2020, a montante da ETA Guandu, subdividido por UHP's	68
Figura 16 – Uso e cobertura da terra na APP do rio Guandu e formadores para o buffer de 1000 m, no ano de 2020	71
Figura 17 - Comparação das descargas anuais de sedimentos finos, material depositado e eficiência de retenção de diferentes estudos.....	73
Figura 18 - Síntese do estressor “Uso e cobertura da terra”.....	75
Figura 19 - Síntese do estressor “Degradação de APP”	76
Figura 20 - Síntese do estressor “Processos erosivos”	76
Figura 21 – Matriz de risco dos estressores condições ambientais	77
Figura 22 - Turbidez estimada e custos de produtos químicos por ano, ao longo dos 30 anos de implantação de R3000.....	78
Figura 23 - Principais acidentes ambientais tecnológicos, de fontes fixas, na área de influência da ETA Guandu (2000-2010)	82
Figura 24 - Ferrovias inseridas na área de estudo	84
Figura 25 - Número de acidentes a cada 6 km na BR-116 no trecho do RJ, por período analisado (1983-2003; 2004-2013; 2014-2016 e 1983-2016)	86
Figura 26 - Distribuição dos cenários e classificação de risco associada, nas áreas estudadas.....	87
Figura 27 - Síntese do estressor “acidentes ambientais”	89
Figura 28 - Índices de atendimento, coleta e tratamento de esgoto para os municípios que integram a Bacia do Guandu	91

Figura 29 - Evolução temporal dos investimentos em esgotamento sanitário nos municípios da RH II - Guandu	92
Figura 30 - Estimativa de volume médio de esgoto gerado por dia, para o ano de 2020.....	93
Figura 31 - Informações sobre coleta e disposição final de resíduos sólidos nos municípios da Bacia do rio Guandu, para ano de 2020	95
Figura 32 – Síntese do estressor “Carga poluidora”.....	97
Figura 33 - Esquema ilustrativo de projeto de proteção da captação da ETA-Guandu.....	98
Figura 34 - Parâmetros de Qualidade da Água (IQANSF).....	101
Figura 35 - Valores do IQA classificados em faixas, entre os estados brasileiros	101
Figura 36 - Pontos de monitoramento do IQA, utilizados na região de estudo.....	103
Figura 37 - IQA de 2012 a 2019 no rio Paraíba do Sul, IQA de 2012 a 2021 no rio Ribeirão das Lajes e rio Guandu e média dos respectivos períodos.....	104
Figura 38 - Dados brutos do IQA médio entre 2012 e 2019 do rio Paraíba do Sul no trecho Paulista	105
Figura 39 - Dados Brutos do IQA médio entre 2012 e 2021 no ponto de transposição do rio Paraíba do Sul e na Bacia do rio Guandu, a montante da ETA Guandu e as respectivas distâncias das estações à captação da ETA Guandu e vazão média dos rios em cada estação.	106
Figura 40 - IQA de 2012 a 2021 do rio Paraíba do Sul, Ribeirão das Lajes e rio Guandu	107
Figura 41 - Ocorrência de Fósforo Total e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).....	109
Figura 42 - Ocorrência de Coliformes Termotolerantes e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).	110
Figura 43 - Ocorrência de DBO e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).	112
Figura 44 - Ocorrência de OD e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).	113
Figura 45 - Ocorrência de Turbidez e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).....	114
Figura 46 - Ocorrência de Nitrato até 2019, de Nitrogênio Amoniacal a partir de 2020 e violações de classes de enquadramento dos corpos d’água (Classe 2 ou 3).	116
Figura 47 - Ocorrência de pH e violações de Classe 2 nas estações GN200 e SP310.	117
Figura 48 - Temperatura do ar e da água na GN200 e GN201 durante o período de 2012 e 2021	121
Figura 49 - Monitoramento de geosmina - MIB - Sistema Guandu janeiro a março de 2020	122
Figura 50 - Pontos de coleta onde foram encontrados poluentes emergentes na área de estudo	124
Figura 51 - Pontos de coleta na Bacia do rio Guandu e suas características	128
Figura 52 - Somatório das concentrações de compostos presentes no rio Guandu e afluentes.....	129
Figura 53 - Classificação dos compostos poluentes, Concentração Previsível Sem Efeito (PNEC) destes compostos encontrados na literatura, frequência de detecção e concentração analisados em água superficial e tratada, e coeficiente de risco de cada composto	130
Figura 54 - Visão geral dos requisitos e ações necessárias para as seis categorias propostas pelo projeto SOLUCIONS	131
Figura 55 - Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores relacionados à pressão sobre as condições ambientais da bacia	137
Figura 56 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (continua)	154
Figura 57 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (continua)	155
Figura 58 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (conclusão)	156

Figura 59 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "poluentes" (continua)	157
Figura 60 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "poluentes" (conclusão)	158
Figura 61 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "uso da terra e sedimentos"	158
Figura 62 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "gestão"	159
Figura 63 - Pontos de monitoramento do IQA, com seus respectivos rios, coordenadas geográficas e localização	160
Figura 64 - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido aos acidentes com produtos poluentes, em empreendimentos na região à montante da captação da ETA Guandu até o município de Volta Redonda para o ano de 2012.	161
Figura 65 - Indústrias presentes na Bacia do rio Guandu e trecho a montante da transposição na bacia do médio Paraíba do Sul até Volta Redonda	162
Figura 66 - Principais dutos nas áreas de estudo na Bacia do rio Guandu e trecho a montante da transposição na bacia do médio Paraíba do Sul até Volta Redonda	163
Figura 67 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (continua)	169
Figura 68 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (continua)	170
Figura 69 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (conclusão)	171
Figura 70 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º trimestre de 2020	172
Figura 71 - Parâmetro Físico-Químicos e Biológicos do Sistema Guandu para 1º semestre de 2020	173
Figura 72 - Parâmetro Inorgânicos do Sistema Guandu para 1º semestre de 2020	174
Figura 73 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)	175
Figura 74 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)	176
Figura 75 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)	177
Figura 76 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)	178
Figura 77 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)	179
Figura 78 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (conclusão)	180
Figura 79 - Resultado analítico de desinfetantes e produtos secundários de desinfecção de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º trimestre de 2020	180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade.....	34
Quadro 2– Matriz de determinação do grau de risco por estressor	35
Quadro 3 - Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade	55
Quadro 4 - Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público	58
Quadro 5 - Parâmetros para avaliação do comprometimento da qualidade da água bruta.....	60
Quadro 6 - Acidentes na BR-116 no período entre 1984 a 2016 e tipos de produtos envolvidos.....	85
Quadro 7 - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido a acidentes por fontes moveis e fixas, incluso cargas difusas (carga orgânica remanescente - esgoto sanitário e resíduos sólidos municipais).....	88
Quadro 8 - Poluentes emergentes detectados no rio Guandu e no rio Paraíba do Sul (no trecho entre o reservatório de Funil e o ponto de transposição) encontrados na literatura	123
Quadro 9 - Síntese dos resultados dos estressores na região de estudo.....	135
Quadro 10 - Comprometimento da qualidade da água na Bacia do rio Guandu e no ponto de captação da ETA Guandu (GN200)	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidades diárias de produtos utilizados na ETA Guandu, para o ano de 2022	47
Tabela 2 - Uso e cobertura da terra da Bacia do rio Paraíba do Sul, do trecho a montante da transposição, para os anos 1985, 2000 e 2020 e variação para o período	64
Tabela 3 - Uso e cobertura da terra da área de estudo na Bacia do Guandu para os anos de 1985, 2000 e 2020 e variação para o período.....	67
Tabela 4 - Uso e cobertura da terra na área de estudo da Bacia do Guandu subdividido por UHP, para o ano 2020.....	69
Tabela 5 - Percentual do uso e cobertura da terra das APPs do rio Paraíba do Sul a montante da transposição, para buffer de 100 m e 1000 m, no ano de 2020	70
Tabela 6 - Percentual do uso e cobertura da terra da APP do rio Guandu e formadores, para buffer de 100 m e 1000 m, no ano de 2020	71
Tabela 7 - Acidentes com produtos perigosos na região de estudo, entre 2000 e 2013	80
Tabela 8 - Atendimento total de coleta e tratamento de esgoto nas regiões da Bacia Paraíba do Sul a montante da transposição (porção paulista e Médio Paraíba do Sul).....	90
Tabela 9 - Cargas orgânicas geradas e lançadas na Bacia do rio Guandu.....	92
Tabela 10 - Estações de Tratamento de Esgoto da Bacia do rio Guandu, para o ano de 2020	94
Tabela 11 - Percentual de amostras em desconformidade com enquadramento para as principais estações na Bacia do rio Guandu entre 2012 e 2021	118
Tabela 12 - Concentrações máximas aceitáveis (μgL^{-1}) de desreguladores endócrinos em água potável (1) e água superficial (2) de acordo com as legislações nacionais e internacionais	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
AIPM	Área de Interesses para Proteção de Mananciais
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CERHI	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica
FMP	Faixas Marginais de Proteção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IQA	Índice de Qualidade de Água
MRS	Malha Regional Sudeste
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RH II	Região Hidrográfica Guandu
RH III	Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SOPEA	Serviço de Operações de Emergências Ambientais
UEH	Usina hidrelétrica

UEL Usina Elevatória
UPH Unidade de Planejamento Hídrico
WRI *World Resources Institute*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
1 BASES CONCEITUAIS E METODOLÓGICAS PARA A AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA.....	26
1.1 Conceito global de segurança hídrica	26
1.2 Conceito de segurança hídrica para o abastecimento público urbano	28
1.3 Modelo conceitual e analítico de avaliação da segurança hídrica	31
1.3.1 Nível de segurança da disponibilidade hídrica de água bruta	34
1.3.2 Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano (captação e tratamento).....	36
2 DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	38
2.1 Bacia do rio Paraíba do Sul	39
2.2 Transposição das águas da Bacia Paraíba do Sul para a Bacia do Guandu.....	39
2.3 Bacia do rio Guandu.....	42
2.4 Principais corpos d'água nas bacias drenantes ao ponto de captação da ETA Guandu.....	43
2.5 ETA Guandu	44
2.5.1 Sistema de captação	45
2.5.2 Sistema de tratamento	46
2.5.3 Ampliação da ETA Guandu.....	47
3 ADAPTAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO PARA A ETA GUANDU: AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	49
3.1 Adaptação realizada no modelo e nas métricas.....	50
3.2 Revisão sistemática.....	51
3.3 Seleção dos estressores à qualidade da água bruta no ponto de captação do sistema Guandu e indicadores	53
3.3.1 Estressores selecionados	53
3.3.2 Ocorrência do estressor	55
3.3.3 Severidade do impacto	55
3.4 Comprometimento da qualidade da água bruta	59
3.5 Ações de gestão	60
4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA DA QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA NO PONTO DE CAPTAÇÃO DA ETA GUANDU.....	62
4.1 Condições ambientais dos mananciais de abastecimento	62
4.1.1 Estressor “Uso e cobertura da terra”	62
4.1.2 Estressor “Degradação de APP hídrica”	69

4.1.3	Estressor “Processos erosivos”	72
4.1.4	Síntese e avaliação do risco associado aos estressores “condições ambientais” dos mananciais de abastecimento	75
4.1.5	Ações de Gestão para aumentar a segurança hídrica.....	77
4.2	Estressor “acidentes ambientais” sobre os mananciais de abastecimento	79
4.2.1	Poluição proveniente de acidentes de fontes fixas	80
4.2.2	Poluição proveniente de acidentes nos modais de transporte	82
4.2.3	Síntese e risco associado ao estressor “acidentes ambientais” sobre os mananciais de abastecimento	86
4.2.4	Ações de prevenção para acidentes ambientais do Plano de contingência para abastecimento de água (Guandu).....	89
4.3	Estressor “carga poluidora” sobre os mananciais de abastecimento	89
4.3.1	Coleta e tratamento de esgoto nos mananciais de abastecimento	89
4.3.2	Risco associado à carga poluidora	97
4.3.3	Ações de gestão para aumentar a segurança hídrica	97
4.4	Análise do comprometimento da qualidade da água	100
4.4.1	Panorama global de qualidade da água dos mananciais: IQA	100
4.4.2	Desconformidade dos parâmetros de qualidade de água em relação ao enquadramento dos corpos hídricos	108
4.4.3	Episódios de poluição aguda no verão dos anos de 2020 e 2021.....	119
4.4.4	Poluentes emergentes	122
4.5	Síntese dos estressores “condições ambientais e qualidade da água” e análise de risco ..	134
4.5.1	Síntese dos estressores.....	135
4.5.2	Risco final para qualidade da água no ponto de captação do sistema Guandu	137
4.5.3	Comparação deste estudo com a classificação de segurança hídrica da ANA (2021) para a Bacia do rio Guandu	138
CONCLUSÃO.....		140
REFERÊNCIAS.....		142
APÊNDICE A – Lista de artigos obtidos por meio da revisão sistemática.....		154
APÊNDICE B - Pontos de monitoramento do IQA.....		160
ANEXO A - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido aos acidentes com produtos poluentes, em empreendimentos na região à montante da captação da ETA Guandu até o município de Volta Redonda.....		161
ANEXO B- Indústrias e dutos identificados pelo Plano de Contingencia para abastecimento de água (Guandu).....		162

ANEXO C – Ações preventivas identificados pelo Plano de Contingencia de Abastecimento de Água na ETA Guandu.....	164
ANEXO D – Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021.....	169
ANEXO E – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do Sistema Guandu.....	173
ANEXO F – Resultados de parâmetros monitorados na saída do tratamento do sistema de abastecimento Guandu.....	175

INTRODUÇÃO

Há uma preocupação crescente com a vulnerabilidade de sistemas urbanos de abastecimento no Brasil, em função de sucessivas crises hídricas desde 2014 em várias metrópoles brasileiras como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Fortaleza e Curitiba (ANA, 2016 e 2019; BRITTO, FORMIGA-JOHNSSON e CARNEIRO, 2016; MMA, 2016; PNMC, 2016; DE NYS, ENGLE e MAGALHÃES, 2016; BRAGA e KELMAN, 2016; SOUZA FILHO *et al.*, 2018; WERNECK-LIMA *et al.*, 2018; FORMIGA-JOHNSSON, LEMOS e SOUZA-FILHO, 2019; LEMOS *et al.*, 2020). Essa situação de maior risco à segurança hídrica, resultante de profundas mudanças dos usos da terra e novos estressores climáticos, constitui atualmente um dos maiores desafios para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

A segurança hídrica é fundamental para a sobrevivência e o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas, e surge como um grande desafio global nos próximos anos (NAGABHATLA *et al.*, 2018). Estima-se que a demanda global de água irá aumentar em 55% até 2050, principalmente devido à crescente demanda por produção de eletricidade térmica, uso industrial e doméstico (UNEP, 2015), e o déficit hídrico global será de 40% até 2030, sob o cenário tendencial ou *business-as-usual* (2030 WRG, 2009). Cerca de 54% da população global é urbana, e é previsto aumento para 60% até 2030 e para 66% até 2050 (UNDESA, 2014). Desde a década de 90, a qualidade da água piorou em quase todos os rios da América Latina, África e Ásia, com a poluição severa por patógenos, afetando cerca de um terço de todos os rios nessas regiões (UNEP, 2016).

Tendo como referência a gestão de recursos hídricos, esta dissertação adota como recorte de pesquisa a segurança hídrica para o abastecimento público, interessando-se sobretudo pelos aspectos relacionados aos mananciais de abastecimento e a necessária compatibilização com os sistemas de captação e tratamento dos serviços de água. A proteção de mananciais constitui a primeira barreira para evitar ou reduzir a contaminação dos mananciais, minimizando os custos operacionais de tratamento e aumentando a segurança de água potável para a população, evitando sua contaminação na sua origem (IVEY *et al.*, 2006; TIMMER *et al.*, 2007; PLUMMER *et al.*, 2010). Ela torna-se cada vez mais necessária e oportuna perante a urgência de aumentar a segurança hídrica em tempos de incertezas relacionadas tanto a atividades antrópicas quanto a intensificação de eventos extremos como secas e inundações (ANA, 2019; FORMIGA-JOHNSSON *et al.*, 2019).

Em termos de segurança hídrica de abastecimento urbano, a literatura geralmente compreende dois componentes (MELO, 2016). De um lado, a gestão da água bruta, normalmente desempenhada pelo órgão gestor de recursos hídricos, que deve se articular com o sistema de gestão ambiental e demais políticas correlatas; a garantia da segurança hídrica do sistema de abastecimento urbano, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, depende principalmente dessa função, que tem como domínio a bacia hidrográfica à montante do ponto de captação. De outro lado, o abastecimento de água potável geralmente fica a cargo dos municípios e de seus concessionários que prestam os serviços decorrentes dessa função. Caso falhem os dispositivos de controle dos subsistemas associados a essa função, quais sejam, captação, tratamento, distribuição e consumo, pode ocorrer diminuição significativa da segurança hídrica de abastecimento de água tratada para o consumidor final.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, escolheu-se o caso ETA Guandu, considerando a relevância recente dos debates acerca de sua segurança hídrica, qualidade da água do manancial e a grande importância do rio Guandu no abastecimento de mais de 9 milhões de habitantes na porção oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (CEDAE, 2022b).

Destaca-se, em especial, as crises hídricas de janeiro de 2020 e 2021, quando se observou alta turbidez, odor e sabor desagradáveis na água distribuída para a população da porção oeste da RMRJ, associados à presença de uma substância similar ou conhecida como geosmina, produzida por algas prejudiciais à sua qualidade para consumo, como as cianobactérias (XAVIER, 2020).

Segundo Nogueira (2011), as “condições ambientais e qualidade da água” constituíam o segundo maior fator de estresse da ETA Guandu à época, que determinava a maior vulnerabilidade, era a “dependência da transposição”. Diante da gravidade dos eventos no início do ano de 2020, Formiga-Johnsson e Britto (2020) passaram a considerar a poluição das águas, que já era um estressor significativo, como o principal fator de estresse sobre a ETA Guandu. Desta forma, neste trabalho foi abordado esse estressor em detalhe.

Problemática e premissas

Esta pesquisa é parte do projeto global de pesquisa “Segurança hídrica da Metrópole do Rio de Janeiro face a estressores climáticos e não-climáticos”, sob a coordenação da Professora Rosa Maria Formiga Johnsson.

Neste trabalho, limitamos aos estressores relacionados as condições ambientais e qualidade da água bruta. A pesquisa global avalia outros estressores que podem apresentar riscos à ETA Guandu, a saber: “demanda por água/pressão sobre os recursos hídricos”, “eventos extremos de seca e inundações”, “acidentes ambientais” e “transposição e dependência de águas da Bacia Paraíba do Sul” (FORMIGA-JOHNSSON *et al.*, 2021).

O estudo parte das seguintes premissas:

(i) As Bacias dos rios Guandu e Paraíba do Sul (PdS) são altamente estratégicas para o abastecimento da porção oeste da RMRJ, o que impõe a necessidade de sua proteção e recuperação;

(ii) Foi selecionado, o estressor global “Pressão sobre as condições ambientais e qualidade da água” que compreende um conjunto de estressores que estão relacionados às ações antrópicas sobre o meio ambiente que possam comprometer a qualidade da água bruta e a provisão dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica;

(iii) Para a análise, considerou-se os estressores “Uso e cobertura da terra”, “Degradação de Área de Preservação Permanente (APP)”, “Processos Erosivos”, “Acidentes Ambientais” e “Carga Poluidora”.

Partindo dessas premissas, a pesquisa foi desenvolvida tendo as seguintes questões norteadoras de investigação:

(i) Qual é o nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Guandu perante o estressor "Pressão sobre as condições ambientais e qualidade da água"?

(ii) Dos estressores estudados, quais deles causam maior vulnerabilidade para a ETA Guandu e, por consequência, maior risco à população metropolitana do Rio de Janeiro?

Objeto de Estudo: ETA Guandu e área de influência

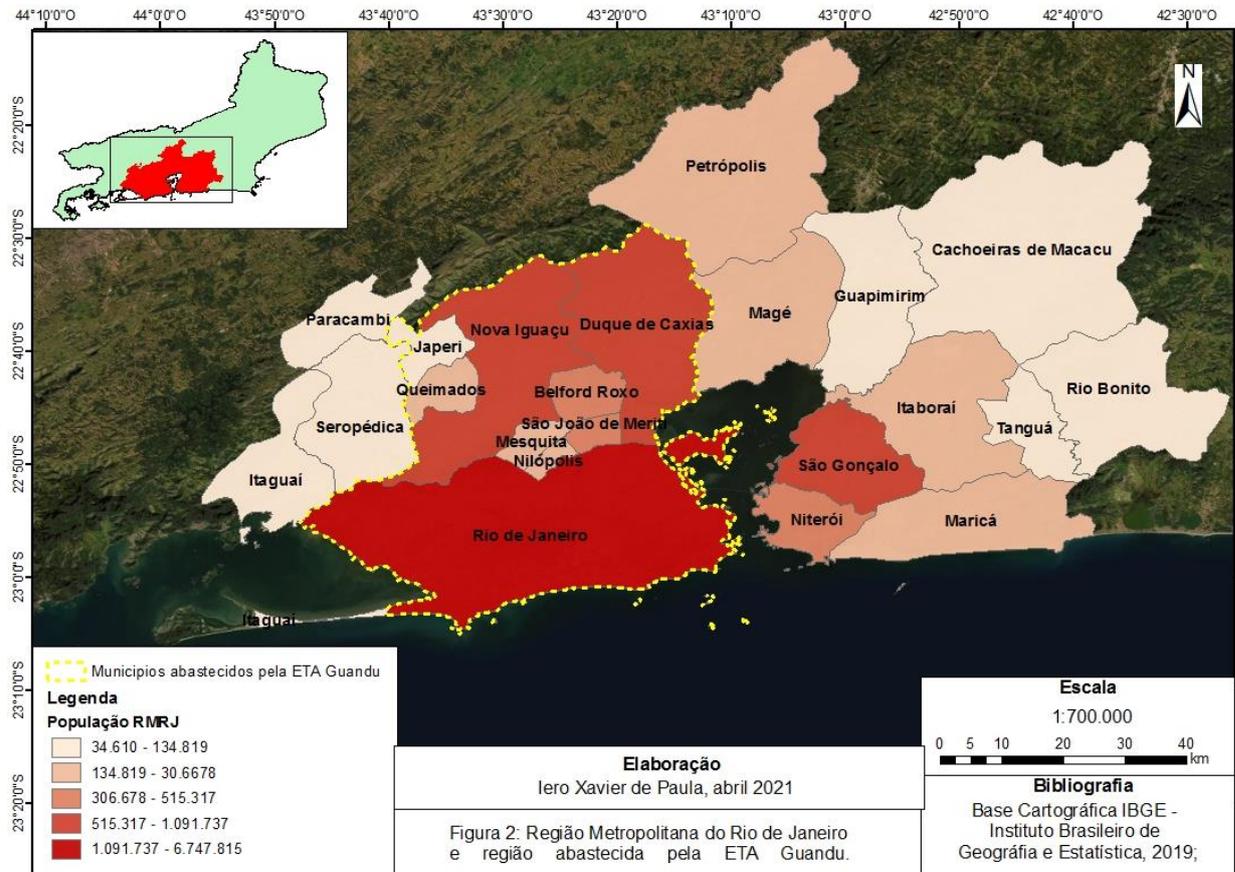
O objeto de estudo compreende, tanto a ETA Guandu, quanto a suas “áreas drenantes de influência direta”, incluindo a região drenante à montante da captação da ETA Guandu, na Bacia do rio Guandu, que em função da transposição do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, a mesma também inclui o próprio sistema de transposição e a região drenante a montante deste sistema, na Bacia do Paraíba do Sul.

A Bacia do Paraíba do Sul possui importância estratégica para o abastecimento da porção oeste da RMRJ, em função da transposição e está inserida em uma das principais áreas industrializadas do país, responsável por mais de 12% do PIB nacional (CBH GUANDU e PROFILL, 2018).

A transposição retira cerca de dois terços das águas do rio Paraíba do Sul e mobiliza praticamente a totalidade do rio Piraí. Concebida primordialmente para a geração de energia no Complexo de Lajes, a transposição tornou-se vital para o abastecimento da porção oeste da RMRJ que é hoje dependente das águas transpostas por este complexo sistema de infraestrutura hídrica (CBH GUANDU, PROFILL e TSA, 2019). Quase a totalidade das demandas de abastecimento de água da RMRJ é atendida pelas águas transpostas da Bacia do rio Paraíba do Sul para a Bacia do rio Guandu, e distribuída pelo sistema integrado Acari, Guandu e Ribeirão das Lajes (INEA, 2014).

Neste sistema integrado a ETA Guandu, é responsável pelo abastecimento de mais de 9 milhões de pessoas, nos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Itaguaí, Nilópolis, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro e São João de Meriti (Figura 1). Atendendo toda esta demanda e com capacidade de tratar 43 m³/s de água bruta (CEDAE, 2022a).

Figura 1 - Região abastecida pela ETA Guandu na RMRJ



Fonte: Autor, 2021.

A RMRJ concentra cerca de 78% da população do estado, com aproximadamente 13,2 milhões de habitantes (ANA, 2021) e é composta por 22 municípios do Estado do Rio de Janeiro, a saber: Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Petrópolis, Queimados, Rio Bonito, Rio de Janeiro, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica e Tanguá.

Objetivo Geral

Mediante aplicação de um modelo analítico adaptado, avaliar o nível atual da segurança hídrica da água bruta para a ETA Guandu e o abastecimento da RMRJ perante estressores relacionados às condições ambientais dos mananciais e à qualidade da água no ponto de captação. Buscou-se dar subsídios ao processo de gestão das águas e saneamento da área de influência da ETA Guandu, ao ressaltar, de forma sistêmica as principais questões que

envolvem a sua segurança hídrica, em termos de qualidade de água, que deveriam ser prioritárias para as políticas públicas.

Objetivos Específicos

Contextualizar a pesquisa, apresentando – de forma resumida – suas referências conceituais, metodológicas e a delimitação do objeto de estudo;

Adaptar o modelo analítico de avaliação de segurança hídrica para os aspectos relacionados à qualidade de água dos mananciais de abastecimento da ETA Guandu;

Aplicar o modelo adaptado e identificar o nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Guandu perante o estressor "Pressão sobre as condições ambientais e qualidade da água";

Identificar, através do modelo adaptado, os estressores relacionados à qualidade de água que causam maior vulnerabilidade para a ETA Guandu e, por consequência, trazem maior risco à população metropolitana do Rio de Janeiro; e

Identificar medidas e ações de gestão propostas para aumentar a segurança dos recursos hídricos ou diminuir a vulnerabilidade da ETA Guandu quanto à qualidade de água.

Metodologia de pesquisa

Esta pesquisa foi norteada por pesquisas anteriores coordenadas pela professora Rosa Maria Formiga, sobretudo: "Variabilidade Climática, Disponibilidade Hídrica e ETA Guandu: Uma Análise Qualitativa de Vulnerabilidade" (NOGUEIRA, 2011); "Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano" em Belo Horizonte (MELO, 2016); "Avaliação Qualitativa da Segurança Hídrica do Abastecimento de Municípios Fluminenses da Bacia do Rio Pomba" (SILVA, 2017) e "Modelo analítico de segurança hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza: aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ" (IKEMOTO, 2020).

Trata-se de uma pesquisa empírica, de caráter exploratório e descritivo, que emprega o método qualiquantitativo, por meio de duas estratégias de pesquisa: a revisão bibliográfica e o estudo de caso (BOTELHO; CRUZ, 2013). A estratégia de pesquisa de estudo de caso possibilita uma investigação detalhada e sistêmica de situações complexas como é o caso da segurança hídrica da ETA Guandu/RMRJ.

Para a delimitação da área da pesquisa, foram utilizados diversos estudos técnicos sobre as Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu que permitiram identificar a área mais crítica, ou seja, aquela que representa o maior potencial de comprometimento qualitativo das águas captadas pela ETA Guandu.

A pesquisa de dados e informações sobre as bacias hidrográficas de estudo e a ETA Guandu foi feita por meio de revisão narrativa e sistemática e por meio de consultas aos sítios eletrônicos e relatórios do IBGE, INEA, CEDAE, ANA, CETESB, CEIVAP, Comitê Guandu e AGEVAP. Utilizou-se ainda de notícias sobre a ETA Guandu em jornais de maior circulação no Rio de Janeiro. Para produção de mapas foram utilizados dados primários dos órgãos e agências reguladoras tais como: AGEVAP, CEIVAP, INEA, IBGE e ANA.

Estrutura da dissertação

O capítulo 1 expõe o referencial teórico e conceitual construído e utilizado para a pesquisa, descrevendo os conceitos de segurança hídrica e terminologias relacionadas no contexto internacional e nacional; e apresenta a metodologia de avaliação qualitativa do nível de segurança hídrica, que inclui o modelo analítico da segurança hídrica.

O capítulo 2 caracteriza o objeto de estudo (Bacias dos rios Guandu e Paraíba do Sul) e delimita a área territorial dessas bacias correspondente ao que denominamos de “área de influência da ETA Guandu”.

O capítulo 3 expõe o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica, aplicado ao caso da Bacia do rio Guandu e Bacia do rio Paraíba do Sul. O modelo analítico de avaliação buscar estabelecer um panorama geral de avaliação da política de segurança hídrica da ETA Guandu e dos mananciais de abastecimento.

O capítulo 4 (diagnóstico e análise do problema) apresenta os resultados do modelo analítico para avaliar, de forma qualitativa, o nível de segurança hídrica do abastecimento público da população oeste da RMRJ atendida pelo sistema Guandu, e discute os resultados obtidos pela sua aplicação.

1 BASES CONCEITUAIS E METODOLÓGICAS PARA A AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA

Este capítulo resume os referenciais conceitual e metodológico sobre os quais a presente pesquisa se baseia, que têm sido continuamente desenvolvidos por estudos relacionados ao grupo de pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais” da UERJ, sobretudo por Formiga-Johnsson e Melo (2016), Melo (2016), Ikemoto (2020) e Formiga-Johnsson e Britto (2020).

1.1 Conceito global de segurança hídrica

Na literatura nacional e internacional, o conceito de 'segurança hídrica' no contexto de gestão de bacias hidrográficas varia muito e geralmente se refere à água bruta, envolvendo o conceito de risco relacionado às estiagens e secas, poluição e inundações até questões de desenvolvimento sustentável (ver, por exemplo, COOK e BAKKER, 2012; SCOTT *et al.*, 2013; CONWAY, 2013; GARRICK e HALL, 2014; MELO, 2016; HONKONEN, 2017; MELO e FORMIGA-JOHNSSON, 2017; WORLD WATER FORUM, 2018; ANA, 2019).

De outro lado, observa-se também uma diversidade de conceitos e abordagens metodológicas por parte de organismos internacionais como a Organização das Nações Unidas (UN-WATER, 2013a e 2013b), a Organização Mundial da Saúde – OMS (WHO, 2016), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2013) e a Global Water Partnership (GWP, 2014).

Tendo como referência a ONU, cuja definição é amplamente utilizada por gestores públicos de muitos países, segurança hídrica é:

[..] a capacidade de uma população em assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico; garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água; preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (UN-WATER, 2013a, p. 1).

Este conceito foi mais detalhado pela UN-Water (2013) que define quatro dimensões de segurança hídrica (Figura 2):

- A primeira trata da garantia ao acesso à água potável segura e suficiente para atender as necessidades básicas da população, a um custo acessível, incluindo a captação e tratamento de água, o saneamento e higiene, e a salvaguarda da saúde e do bem-estar, associada a proteção de meios de subsistência, direitos humanos e valores culturais e recreativos.
- A segunda dimensão trata da preservação e proteção de ecossistemas em sistemas de alocação e gerenciamento de água, a fim de manter sua capacidade de fornecer e sustentar o funcionamento de serviços essenciais de ecossistemas.
- A terceira dimensão aborda a resiliência e a capacidade de lidar com incertezas e riscos a desastres relacionados à água, como inundações, secas e poluição, entre outros.
- A quarta dimensão, por sua vez, refere-se ao abastecimento de água para atividades e desenvolvimento socioeconômico (como energia, transporte, indústria, turismo).

Esse foi o conceito recente adotado pela ANA, no contexto do seu Plano Nacional de Segurança Hídrica - PNSH (ANA, 2019), ao qual acrescentou uma abordagem inspirada da OCDE (2013), que associa os conceitos de ‘segurança hídrica’ e ‘risco’:

“A Segurança Hídrica (...) existe quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas as suas quatro dimensões como balizadoras do planejamento da oferta e do uso da água em um país”.

Figura 2 – As quatro dimensões de segurança hídrica do Plano Nacional de Segurança Hídrica do Brasil



Fonte: ANA, 2019.

As pesquisas que vêm sendo desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa são dedicadas ao abastecimento urbano –, por envolver o uso prioritário e o direito humano à água e motivadas pela oportunidade de refletir mais globalmente sobre crises hídricas recentes, sobretudo em metrópoles brasileiras. Essas crises expuseram o alto nível de risco à segurança hídrica associado a fatores antrópicos e climáticos, com sistemas hídricos complexos e arranjos de gestão e governança pouco adaptativos a extremos hidrológicos de seca (BRITTO, FORMIGA-JOHNSSON e CARNEIRO, 2016; FORMIGA-JOHNSSON, LEMOS e SOUZA FILHO, 2019; FORMIGA-JOHNSSON e BRITTO, 2020; e ANA, 2019).

1.2 Conceito de segurança hídrica para o abastecimento público urbano

Abastecimento público pode ser definido como o uso destinado aos sistemas de abastecimento de água para consumo, que usualmente contempla o uso doméstico - preparo de alimentos, higiene pessoal, limpeza na habitação, irrigação de jardins e pequenas hortas particulares, criação de animais domésticos, entre outros - e o uso público para moradias, escolas, hospitais e demais estabelecimentos públicos, irrigação de parques e jardins, limpeza de ruas e logradouros, paisagismo, combate a incêndios, navegação, entre outros (IKEMOTO, 2020).

Os sistemas de abastecimento de água para consumo constituem “conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição” (BRASIL, 2021). Os sistemas de abastecimento captam a água bruta em mananciais superficiais ou subterrâneos, sendo a água aduzida até as estações de tratamento para torná-la potável, bombeada para os reservatórios e então distribuída até os consumidores.

Em termos de segurança hídrica de abastecimento urbano, a literatura geralmente compreende tanto a gestão da água bruta quanto a totalidade de subsistemas ou componentes dos serviços de abastecimento de água tratada, tendo o consumidor final como referência (por exemplo, OCDE, 2013; GWP, 2014; WHO, 2016; FORMIGA-JOHNSSON *et al.*, 2016; MELO, 2016; IKEMOTO, 2020) (Figura 3 adiante):

A **gestão da água** bruta abrange a gestão da bacia hidrográfica contribuinte ao manancial de abastecimento público, de responsabilidade dos órgãos gestores e demais entes do sistema de gestão de recursos hídricos. Garantir segurança de provimento de água bruta de um determinado manancial em quantidade e qualidade requer uma avaliação abrangente, especialmente das áreas de manancial em análise, sobre aspectos como o uso e ocupação do solo e os usos de água na bacia (GWP, 2014; WHO, 2016; IKEMOTO e NAPOLEÃO, 2018). Os estressores são os fatores de origem antrópica ou climática que podem afetar a qualidade e quantidade de água bruta disponível para a abastecimento humano.

Entende-se como manancial qualquer fonte hídrica, subterrânea ou superficial, fluente, emergente ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizável para a captação de água bruta a ser utilizada em sistemas de abastecimento de água (IKEMOTO e NAPOLEÃO, 2018). A bacia hidrográfica, por sua vez, constitui o espaço geográfico delimitado pelo respectivo divisor de águas cujo escoamento superficial converge para seu interior sendo captado pela rede de drenagem que lhe concerne. A área de manancial superficial constitui a área da bacia contribuinte situada a montante dos pontos de captação, ou seja, a áreas drenantes para o ponto de captação do manancial de abastecimento público (IKEMOTO e NAPOLEÃO, 2018).

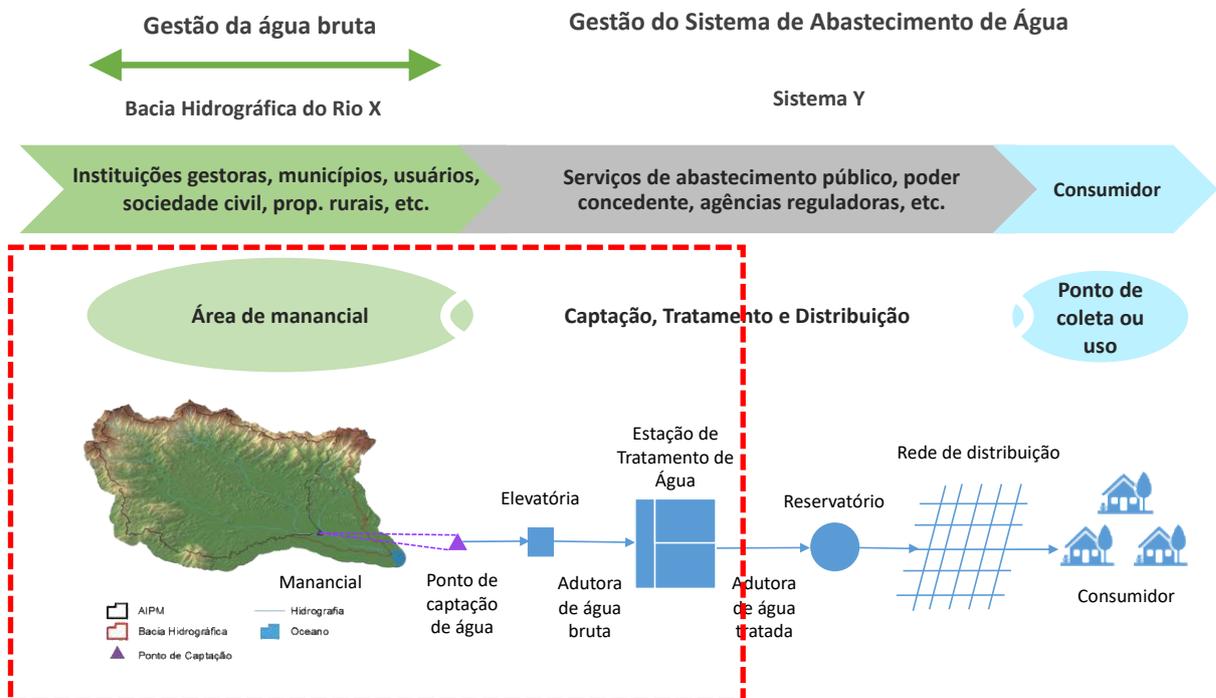
Em suma, a garantia da segurança hídrica do sistema de abastecimento urbano, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, depende principalmente da função “gestão de água bruta”, que tem como domínio a bacia hidrográfica a montante do ponto de captação.

A **gestão do sistema de abastecimento de água**, por sua vez, envolve a captação de água bruta, tratamento e a distribuição da água potável, através de rede de distribuição, de

responsabilidade do poder público municipal e concessionárias de abastecimento. Caso falhem os dispositivos de controle dos subsistemas associados a esta função, quais sejam, captação, tratamento, distribuição e consumo, pode ocorrer diminuição significativa da segurança hídrica de abastecimento de água tratada para o consumidor final.

Em relação ao sistema que compõe a segurança hídrica para o abastecimento público, o recorte das pesquisas efetuadas refere-se à avaliação do nível atual da segurança hídrica associada a água bruta para o abastecimento público, ou seja, a identificação dos principais estressores e potenciais impactos para a quantidade e qualidade de água bruta na bacia de contribuição a montante da captação.

Figura 3 – Componentes da avaliação global de segurança hídrica para o abastecimento urbano e o recorte de estudos sobre segurança da oferta de água bruta (tracejado vermelho)



Fonte: Ikemoto, 2020.

Portanto, os trabalhos do Grupo de Pesquisa não analisam todos os aspectos relacionados à gestão do sistema de abastecimento de água tratada, limitando-se a compreender o grau de vulnerabilidade do sistema de captação e tratamento face à variação da quantidade e qualidade da água bruta no ponto de captação.

1.3 Modelo conceitual e analítico de avaliação da segurança hídrica

O modelo de avaliação de segurança hídrica do abastecimento público urbano, construído por pesquisas anteriores (MELO, 2016; FORMIGA-JONHSSON e BRITTO, 2016; SILVA, 2017; IKEMOTO, 2020) (Figura 4) e ainda em processo de aprimoramento, é baseado no seguinte conceito, talhado especificamente para a pesquisa:

“**Segurança hídrica do abastecimento urbano de água** refere-se à gestão de riscos associados a diversos estressores que impactam ou podem impactar a disponibilidade de água bruta utilizada para abastecimento público, em quantidade e qualidade, tendo como referencial a bacia drenante a montante do ponto de captação. Compreende também a vulnerabilidade do sistema de abastecimento público (captação e tratamento), que pode ser mais - ou menos - adaptativo em relação à variação da quantidade e qualidade de água bruta (FORMIGA-JONHSSON e MELO, 2016).

Ou seja, a **avaliação da segurança hídrica para o abastecimento urbano de água limita-se à água bruta**, sob a perspectiva da gestão de recursos hídricos, e é resultante da análise integrada de dois componentes, a saber:

- 1) A avaliação do nível de segurança da disponibilidade hídrica de água bruta para o abastecimento urbano, associado a um determinado risco de escassez quali-quantitativa, que integra três componentes:
 - i. O nível de ocorrência dos estressores na bacia hidrográfica a montante do ponto de captação;
 - ii. A severidade dos impactos associados aos estressores sobre a qualidade e quantidade de água no ponto de captação;
 - iii. Desempenho das ações de gestão (gerenciamento de recursos hídricos e gestão ambiental) sobre o risco associado a cada estressor.

- 2) A avaliação da vulnerabilidade da Estação de Tratamento de Água (ETA) em relação à variação da quantidade e qualidade da água bruta no ponto de captação, o que implica avaliar os subsistemas de captação e tratamento.

É a combinação dessas duas características que determina o nível de segurança hídrica de um determinado sistema urbano de abastecimento, pois a quantidade e qualidade de água bruta no ponto de captação devem ser compatíveis com o sistema de abastecimento público, mais precisamente com as capacidades operacionais e tecnológicas dos subsistemas de captação

e tratamento, de modo a fornecer uma água tratada de acordo com as normas de potabilidade. Mais ainda, o sistema de gestão de recursos hídricos deve estar preparado para prover a água bruta necessária à universalização do acesso à água tratada por parte de toda a população de uma determinada localidade, mesmo que o serviço de abastecimento público ainda não tenha alcançado a meta de universalização (e, portanto, não utilize a quantidade necessária para tal).

Figura 4 - Modelo analítico de avaliação da segurança hídrica global para o Sistema Guandu/abastecimento do oeste metropolitano da RMRJ, sob a perspectiva da gestão dos recursos hídricos.



Fonte: Formiga-Johnsson e Britto (2018), adaptado de Formiga-Johnsson e Melo (2016) para o Sistema Guandu.

1.3.1 Nível de segurança da disponibilidade hídrica de água bruta

Os estressores constituem qualquer elemento físico, químico ou biológico que podem causar um impacto (efeito adverso) para a quantidade e qualidade de água, originário de fontes de atividades humanas ou processos naturais (MELO, 2016). O uso e ocupação do solo, as demandas de água, fontes pontuais e difusas de lançamentos, os eventos hidrológicos extremos e os acidentes ambientais, são exemplos de estressores recorrentes para segurança hídrica da água bruta em diferentes bacias hidrográficas (FORMIGA-JOHNSSON e MELO, 2016). A ação dos estressores sobre a fonte de água bruta provoca dois efeitos: o estresse quantitativo e o estresse qualitativo, cujo impacto depende da intensidade da ação do estressor.

Os impactos, por sua vez, são resultantes da ação de um conjunto de estressores sobre a quantidade e qualidade das águas em uma bacia hidrográfica, como a poluição crônica da água, a escassez crônica de quantidade de água resultando em balanço hídrico desfavorável, a escassez aguda provocada por estiagens severas e secas, a ocorrência de inundações, a poluição acidental, os conflitos pelo uso, dentre outros.

O Quadro 1 apresenta os critérios empregados para atribuir a graduação qualitativa da intensidade de ocorrência dos estressores e da severidade do impacto para cada estressor. Para cada propriedade, foi adotada uma graduação de três níveis para efeito de avaliação qualitativa de risco (baixo, moderado e alto), considerando a pouca disponibilidade de dados e informações precisas sobre suas condições ambientais e dos recursos hídricos.

Quadro 1 – Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade

Graduação	Ocorrência do Estressor	Severidade do Impacto
Baixo	Casos raros ou isolados	Definido de acordo com indicadores, específicos a cada estudo de caso (ver Melo, 2016, Silva, 2017, Bernadeli, 2017 e Ikemoto, 2020).
Moderado	Ocorrência irregular ou regular segundo padrões sazonais	
Alto	Ocorrência regular ou quase-contínua	

Fonte: Melo, 2016.

As ações de gestão, por sua vez, constituem o conjunto de intervenções técnicas, econômicas, operacionais, legais e institucionais do sistema de gestão de recursos hídricos e do sistema de gestão ambiental que atuam na prevenção, mitigação ou controle dos impactos dos estressores sobre a água bruta, visando manter os riscos associados à segurança hídrica em

níveis aceitáveis. A resultante da graduação dos estressores (Quadro 1) já incorpora as ações de gestão.

A análise do risco, enfim, deve abordar a probabilidade de ocorrência do estressor, e a severidade do impacto. O grau de severidade indica em que medida um ou vários estressores podem alterar a quantidade e a qualidade da água bruta. A frequência dos efeitos sobre uma fonte de água bruta, por sua vez, depende da probabilidade de ocorrência dos estressores em uma dada base de tempo. Riscos maiores, portanto, são resultantes da maior probabilidade de ocorrência dos estressores e de impactos mais severos, frente à insuficiência de ações de gestão correspondentes.

No âmbito deste trabalho, esta análise é qualitativa, ou seja, indica o grau de risco resultante, conforme proposto por Melo (2016), onde a combinação dos três graus qualitativos atribuídos às propriedades dos estressores resulta em nove medidas possíveis de risco, por estressor, representados na matriz de risco à segurança hídrica da água bruta (Quadro 2). Para graduar o risco resultante na matriz, tomou-se por referência OCDE (2013) que agrupou os riscos de acordo com o seu nível: baixo (aceitáveis), médio (toleráveis), alto e muito alto (inaceitáveis).

Quadro 2– Matriz de determinação do grau de risco por estressor

		Severidade e adaptação ao impacto ao estressor		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta			
	Média			
	Baixa			

	Muito Alto (inaceitável)
	Alto (inaceitável)
	Médio (tolerável)
	Baixo (aceitável)

Fonte: Autor, 2022. Adaptado de Melo, 2016.

Essa graduação é também uma forma simples e direta de indicar as prioridades de gestão para fins de segurança hídrica, em geral, e do abastecimento urbano, em particular. Os riscos aceitáveis requerem sobretudo ações de monitoramento de seu comportamento, por meio das características mensuráveis do estressor, e de ações preventivas de planejamento e gestão. Em contrapartida, ações são necessárias para reduzir um risco com nível tolerável para o nível aceitável; no extremo, riscos intoleráveis requerem ações urgentes para reduzi-los a um nível aceitável devido a sua probabilidade muito elevada ou seu alto potencial de dano (OCDE, 2013).

1.3.2 Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano (captação e tratamento)

A vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água é decorrente do seu grau de exposição às condições da água bruta no ponto de captação e seu grau de sensibilidade aos estressores a elas relacionados, bem como do a gestão da bacia hidrográfica e do nível de capacidade de adaptação desse sistema a essas mudanças, que pode impactar a água tratada (IKEMOTO, 2020; MELO, 2016).

Segundo Formiga-Johnsson e Melo (2016), a vulnerabilidade de um sistema de abastecimento de água potável ante a água bruta pode ser avaliada de forma qualitativa (baixa, média e alta), tendo por base a equação de Yohe e Toll (2002), adaptado por Engle e Lemos (2007):

$$V = f \{E(AC); S(AC)\} \text{ onde:}$$

Onde:

V é vulnerabilidade;

E é o grau de exposição ao estresse;

S é o grau de sensibilidade ao estresse;

AC é a capacidade da adaptação.

A exposição é vista como a natureza, magnitude, frequência, duração, extensão e o grau em que uma determinada unidade de análise experimenta estresses ambientais ou político-sociais. A ameaça ao qual o sistema de abastecimento está exposto refere-se à localização do ponto de captação de água bruta da ETA, no contexto da gestão da bacia hidrográfica, à qual está associado um determinado risco.

A sensibilidade são propriedades ou atributos do sistema de abastecimento analisado, sendo estas propriedades encaradas como o grau, a forma e a intensidade em que um sistema é afetado ou como ele vai responder aos estresses. Dependendo por sua vez, da capacidade de adaptação, do subsistema de captação, subsistema de tratamento e subsistema de distribuição.

A capacidade de adaptação, nos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa, refere-se a determinadas características do serviço de abastecimento e sua gestão que lhe permitem ser mais adaptativo e conseqüentemente menos sensível à eventuais problemas relacionados a água bruta. Desta forma, a avaliação se limita às questões que possa impactar a gestão da água bruta. Então não são analisadas outras questões inerentes ao sistema de captação, distribuição, operação e manutenção do serviço de abastecimento que possam afetar o abastecimento de água potável para a população.

Para cada um dos estressores é avaliado o grau de exposição e sensibilidade, sendo efetuada uma análise matricial combinando os três graus qualitativos atribuídos que resulta em nove medidas possíveis de vulnerabilidade. A vulnerabilidade resultante é correspondente à graduação disponível da literatura, que varia de baixa a muito alta (Figura 5).

Figura 5 - Matriz de determinação de vulnerabilidade

		Exposição			
		Baixa	Média	Alta	
Sensibilidade/ adaptação	Alta				Vulnerabilidade Baixa Média Alta Muito alta
	Média				
	Baixa				

Fonte: Ikemoto, 2020. Adaptado de Silva, 2017; Bernardeli, 2017.

Embora seja uma avaliação simplificada, essa graduação demonstrou ser um bom indicador do nível de vulnerabilidade de um determinado sistema de abastecimento em relação à sua exposição na bacia hidrográfica, em termos de qualidade de água bruta (BERNARDELI, 2017; SILVA, 2017).

Quanto maior for a vulnerabilidade, maior é o risco para a segurança hídrica do abastecimento urbano e maior será a necessidade de intervenção, no sistema de abastecimento e/ou na gestão da bacia hidrográfica (IKEMOTO, 2020).

■ ■ ■

Em resumo, as análises, segundo a metodologia proposta pelos estudos do Grupo de Pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais” (sobretudo FORMIGA-JOHNSSON e MELO, 2016; MELO, 2016; BERNARDELLI, 2017; SILVA, 2017; IKEMOTO, 2020; e FORMIGA-JOHNSSON e BRITTO, 2020):

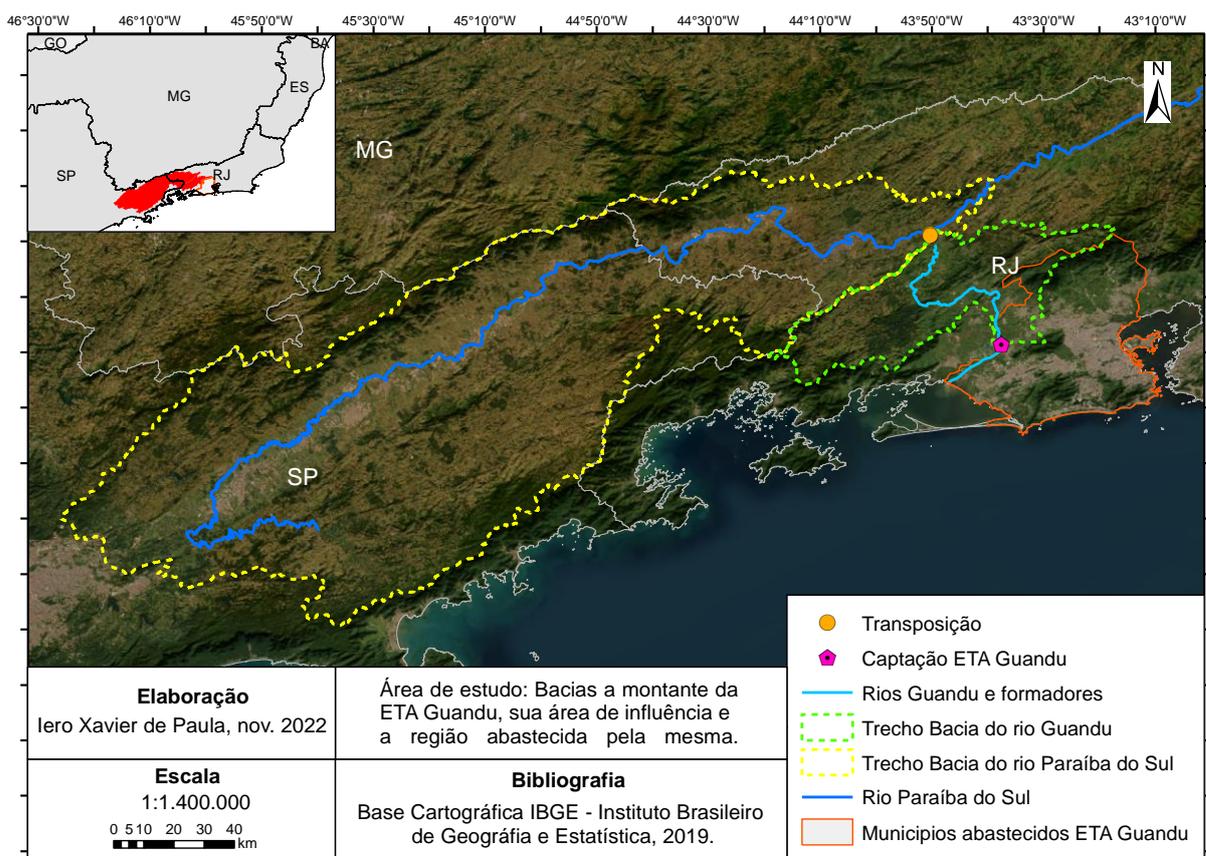
- constroem um panorama sistêmico acerca da situação de segurança hídrica de um determinado sistema urbano de abastecimento; e
- fornecem indicativos claros para os tomadores de decisão (gestores dos mananciais e dos serviços de água), sobre quais devem ser as prioridades para as ações de gestão do risco, visando aumentar a garantia de segurança hídrica.

2 DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Este capítulo dedica-se a apresentar a delimitação da área de abrangência desta pesquisa, que compreende toda a área drenante à ETA Guandu. Como as águas do rio Guandu são formadas essencialmente pelas águas oriundas da transposição do rio Paraíba do Sul, a área drenante compreende parte da Bacia do rio Paraíba do Sul e toda a bacia do Guandu a montante do ponto de captação da ETA Guandu (Figura 6).

O Capítulo está subdividido em quatro partes, descritas a seguir: (i) a Bacia do rio Paraíba do Sul, (ii) o sistema de transposição da Bacia do rio Paraíba do Sul para o Guandu, (iii) a Bacia do rio Guandu e, por fim, (iv) a ETA Guandu.

Figura 6 - Área de estudo: Bacia do rio Paraíba do Sul a montante da transposição (tracejado amarelo) e Bacia do rio Guandu a montante do ponto de captação da ETA Guandu (tracejado verde)



Fonte: Autor, 2022.

2.1 Bacia do rio Paraíba do Sul

O rio Paraíba do Sul é formado pela confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, cujas nascentes estão localizadas nos municípios de Cunha e Areias, ambos no estado de São Paulo. O rio percorre aproximadamente 1.100 km, incluindo o estado de Minas Gerais, até desaguar no Oceano Atlântico pela praia de Atafona, no município de São João da Barra, no estado do Rio de Janeiro. Por banhar mais de um estado, o Rio Paraíba do Sul é um rio de domínio da União (CEIVAP, 2019).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul possui uma área de drenagem de 61.307 km², está localizada no sudeste brasileiro entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. É uma bacia que possui importância estratégica já que está inserida em uma das principais áreas industrializadas do país, responsável por mais de 12% do PIB nacional (CBH GUANDU e PROFILL, 2018). Além de abastecer todos os usuários situados na própria Bacia, sua importância deve-se também à sua condição de principal manancial de abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, inclusive da Metrópole do Rio de Janeiro que se situa fora dos limites da Bacia do rio Paraíba do Sul. Desde 2018, as águas da Bacia passaram a reforçar o abastecimento da Metrópole de São Paulo através de uma segunda transposição para as Bacias Piracicaba-Capivari-Jundiaí.

Em termos político-institucionais, a bacia é pioneira no cenário nacional na organização de organismos de bacia e na implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Como a Bacia do rio Paraíba do Sul é muito estudada e objeto de muitas referências, informações completas e recentes podem ser facilmente acessadas a exemplo do Plano da Bacia aprovado em 2021 (CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL, 2021).

2.2 Transposição das águas da Bacia Paraíba do Sul para a Bacia do Guandu

A história do abastecimento de água da cidade do Rio de Janeiro é marcada por diferentes fases. No final da década de 1930, para acompanhar o crescimento vertiginoso do Grande Rio, optou-se pela construção do sistema Ribeirão das Lajes (reservatório de Ribeirão das Lajes, captando água, após a geração de energia em Pirai), com a primeira fase concluída em 1940 e a segunda em 1949 (CEDAE, 2022a).

Em 1952, com a transposição das águas do rio Paraíba do Sul e do rio Pirai (para geração de energia), tornou-se possível a captação de água na bacia do rio Guandu e a construção da ETA Guandu (em três etapas - 1955, 1963 e 1965), com vazão de 13,8 m³/s. Obras de adequação (1974) e de ampliação (1982), elevaram sua capacidade para 24,0 m³/s e 43 m³/s, respectivamente (CBH GUANDU, 2015).

A transposição é parte de um complexo sistema de reservatórios, elevatórias e usinas hidrelétricas (Complexo hidrelétrico de Lajes/Paraíba do Sul), que compreende as cabeceiras do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, até a transposição na região do CBH do Médio Paraíba do Sul e a Bacia do rio Guandu, no Estado do Rio de Janeiro (NOGUEIRA, 2011).

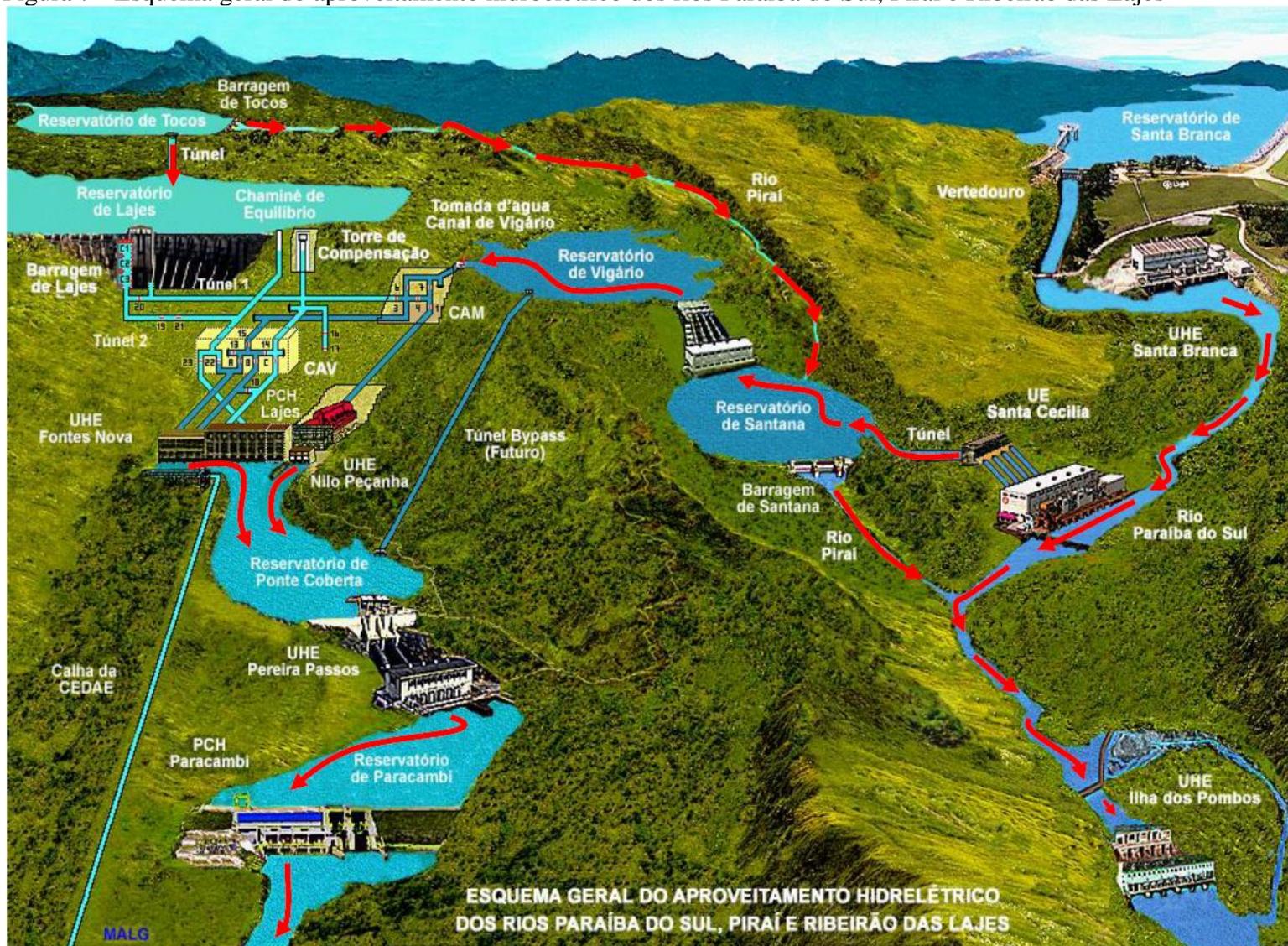
Portanto, a Região Hidrográfica (RH) II - Guandu está interligada com a Bacia do rio Paraíba do Sul através da transposição para o rio Pirai, na qual a elevatória de Santa Cecília bombeia água do rio Paraíba do Sul para o rio Pirai, invertendo o curso do mesmo e elevando significativamente sua vazão (CBH GUANDU e PROFILL, 2018).

O sistema de transposição transfere 60% do volume de água do rio Paraíba do Sul para o Reservatório de Santana, onde a partir da elevatória de Vigário a água é bombeada do rio Pirai até o reservatório de Vigário, daí as águas seguem para as usinas geradoras de energia de Fontes e Nilo Peçanha (CBH GUANDU e PROFILL, 2018). Em seguida, a água flui para o reservatório de Ponte Coberta e há mais um aproveitamento energético através da Usina de Pereira Passos, na sequência, a água flui para a calha do Ribeirão das Lajes, até juntar-se ao rio Guandu (CBH GUANDU e PROFILL, 2018). Desta forma, parte da vazão do rio Pirai é também transposta para a Bacia do rio Guandu.

A transposição foi concebida inicialmente para gerar energia, porém hoje é fundamental para o abastecimento metropolitano e de muitas indústrias na Bacia do rio Guandu. A ETA Guandu capta continuamente cerca de 43m³/s continuamente e está atualmente em expansão, com o projeto novo Guandu, para captar e tratar mais 12m³/s, além de ter como reserva futura de água 12m³/s adicionais, totalizando 24m³/s de reserva hídrica (FORMIGA JOHNSSON, 2020). Ou seja, a dependência da Bacia do rio Paraíba do Sul para abastecimento do oeste metropolitano da RMRJ se tornará ainda mais importante, pois aproximadamente 82% das águas do atual rio Guandu são provenientes do rio Paraíba do Sul.

A Figura 7 ilustra, esquematicamente, os diferentes elementos que compõem este complexo de infraestrutura hidroelétrica, dos rios Paraíba do Sul, Pirai e Ribeirão das Lajes.

Figura 7 - Esquema geral do aproveitamento hidroelétrico dos rios Paraíba do Sul, Piraí e Ribeirão das Lajes



Fonte: Light, 2016.

2.3 Bacia do rio Guandu

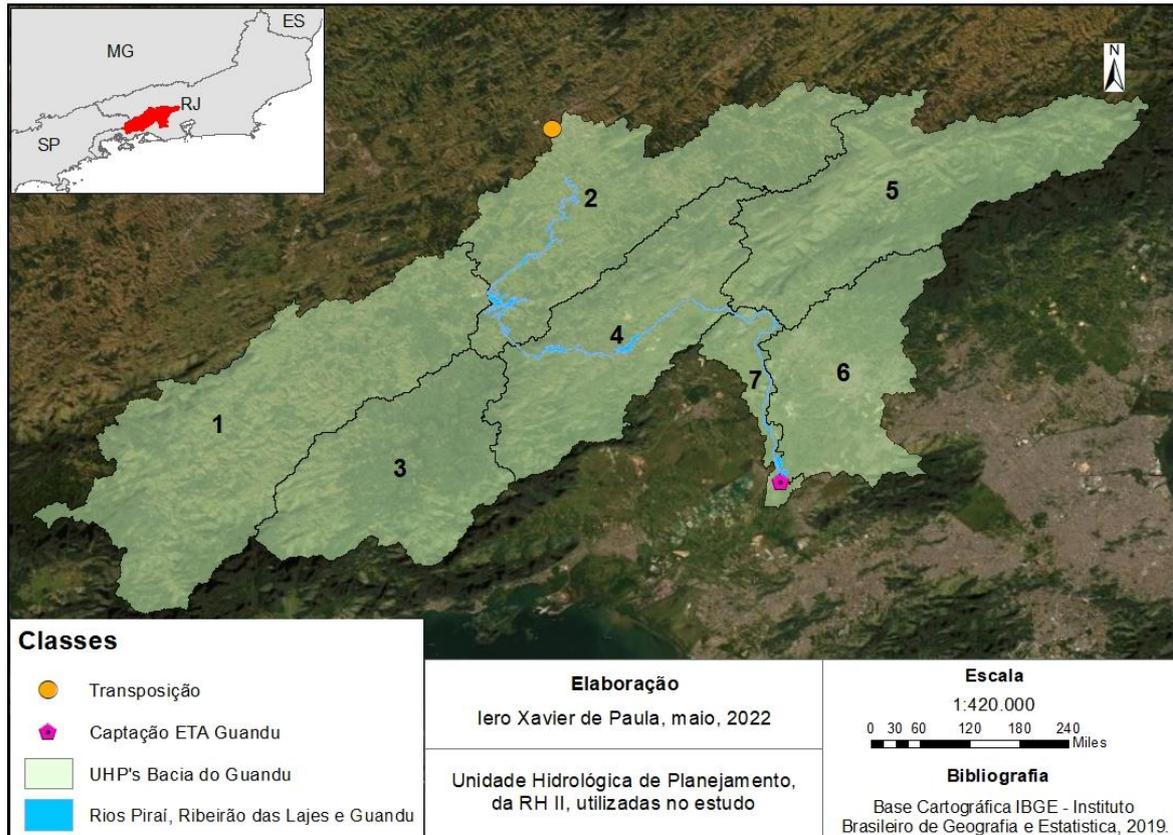
A Bacia do rio Guandu é a mais importante da Região Hidrográfica Guandu (RH II) do Estado do Rio de Janeiro, que compreende também as Bacias dos rios Guandu-Mirim e da Guarda. Além disso, em 2013 por meio da resolução CERHI nº 107, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado do Rio de Janeiro, a área da Bacia do rio Guandu foi ajustada, passando a englobar, na RH II, parte da área da RH III, da Bacia do rio Piraí, na qual por meio da transposição determina uma inversão do sentido de fluxo original do rio Piraí (CEDAE, 2022a). Por essa razão e com o intuito de dar mais fluidez à leitura deste trabalho, por vezes utilizamos a expressão Bacia do rio Guandu para nos referirmos à região montante da ETA Guandu, incluindo a parte invertida da Bacia do rio Piraí.

O rio Guandu possui uma característica peculiar, pois grande parte da sua vazão – em média, 120 m³/s – é oriunda da transposição do rio Paraíba do Sul, na altura da Barragem de Santa Cecília, no município de Barra do Piraí (TUBBS *et al.*, 2012). De pequeno porte em condições naturais (cerca de 25 m³/s), o rio Guandu é formado pela junção do rio Santana e ribeirão das Lajes, na divisa entre os municípios de Japeri e Paracambi.

Para fins de delimitação da área da Bacia do rio Guandu, objeto deste estudo, foi utilizado o Plano Estratégico de Recursos Hídricos Guandu (PERH Guandu, 2018), que dividiu a bacia hidrográfica em 13 Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs). Utilizadas para gerenciar o todo, compreendendo-se melhor as partes, as UHPs são definidas associando-se condições físicas – como, por exemplo, as características hidrográficas, hidrológicas, morfológicas e geológicas – com características socioeconômicas, culturais, político-administrativas e institucionais, voltadas aos recursos hídricos.

As UHPs localizadas na Bacia do rio Guandu a montante da captação da ETA são as UHPs 1 a 7, conforme Figura 8. Estas, somadas, compõem 66% da área total da RH II.

Figura 8 - Unidades Hidrológicas de Planejamento que constituem área de estudo na Bacia do rio Guandu



Fonte: Autor, 2022, dados do CBH Guandu, 2022.

2.4 Principais corpos d'água nas bacias drenantes ao ponto de captação da ETA Guandu

Os corpos d'água selecionados para o estudo correspondem aos rios situados na área de estudo da ETA Guandu: o rio Paraíba do sul, a montante da transposição; o rio Pirai; o rio Guandu, a montante do ponto de captação; e os afluentes de primeira ordem do rio Guandu a montante da ETA (Ribeirão das Lajes, rios Macacos, São Pedro, Ipiranga, Poços e Queimados). Alguns destes afluentes como rio Macacos, Ipiranga, Poços e Queimados possuem qualidade da água muito ruim, como será visto no item 4.4. Estes são brevemente apresentados a seguir:

i. Rio Paraíba do Sul (PdS) - Tendo aproximadamente 2/3 de sua vazão transposta para o rio Guandu ($119 \text{ m}^3/\text{s}$), a qualidade da água deste manancial até o ponto da transposição influencia diretamente na qualidade de água captada pela ETA Guandu.

ii. Rio Piraí - Juntamente com o rio Paraíba do sul, o rio Piraí tem parte de suas águas transpostas para o rio Guandu. Dessa maneira, a qualidade de suas águas é de extrema relevância para a qualidade da água captada pela CEDAE na ETA Guandu.

iii. Rio Guandu – É o manancial de abastecimento de água de grande parte da RMRJ, onde se localiza o sistema de captação da ETA Guandu.

iv. Ribeirão das Lajes - Sua bacia tem 668 km², sendo 326 km² área de captação da barragem da represa. Sua foz fica no encontro com o rio Santana, onde se forma o rio Guandu.

v. Rio Macacos - Nasce na Serra Paulo de Frontin, tem cerca de 16 km de extensão e drena uma área de cerca de 83 km².

vi. Rio São Pedro - Tem 28 km de extensão e 95 km² de área de bacia, nasce na reserva biológica do Tinguá, tem a maior parte dos 95 km² de área de bacia inserida nesta reserva e deságua na margem esquerda do rio Guandu pouco abaixo do município de Japeri. A CEDAE realiza captação de 280 L/s de água neste rio para o abastecimento de Japeri, Engenheiro Pedreira, Queimados e Austin (VIANA, 2009).

vii. Rio Santana - Nasce na Serra do Couto, este rio tem 50 km de extensão e apresenta cerca de 319 km² de área, encontra com Ribeirão das Lajes para formar o rio Guandu.

viii. Rio dos Poços - Drena uma área de 243 km², tem extensão de 32 km e deságua na lagoa do Guandu. Um dos afluentes são os rios Queimados e o Ipiranga.

ix. Rio Queimados - Formado pelos rios Camorim e Abel, tem cerca de 12,5 km de extensão. Tem como principal afluente o rio Sarapó e deságua no rio dos Poços.

x. Rio Ipiranga - Nascendo na serra de Madureira, tem como principal afluente o rio Cabuçu e desemboca na lagoa do Guandu.

2.5 ETA Guandu

A Estação de Tratamento de Água do Guandu (ETA Guandu) é operada pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE). Está localizada a aproximadamente quatro quilômetros de distância do local da captação, já fora dos limites da Bacia do rio Guandu, em Nova Iguaçu, mais especificamente no km 19,5 da Rodovia BR-465, próximo à confluência com a RJ-105 (NOGUEIRA, 2011).

Em julho de 2007, a ETA Guandu foi considerada a maior estação de tratamento de água do mundo em produção contínua, de acordo com o Guinness Book, capaz de tratar 43 mil litros por segundo, suficiente para abastecer mais de 9 milhões de pessoas da RMRJ (CEDAE, 2022b).

2.5.1 Sistema de captação

Para construção da atual tomada d'água da ETA Guandu foi necessária a construção de um canal de desvio que se incorporou às estruturas de captação, formando uma ilha fluvial. No braço direito do rio (canal de desvio) foi construída uma barragem auxiliar; no braço principal do rio foi construída a barragem principal. Imediatamente a montante desta barragem, a captação de água é feita (na comporta leste), através de um túnel onde são aduzidos cerca de 45 m³/s. Ambas as barragens têm a função de regularizar e manter o nível d'água para captação (Figura 9) (CEDAE, 2022a).

Figura 9 – Local de captação da ETA Guandu



Fonte: Nogueira, 2011, adaptado CEDAE.

A montante da captação da ETA Guandu, unida ao braço leste, o barramento formou uma área constantemente alagada, conhecida como Lagoa do Guandu, onde desembocam os poluídos rios dos Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga.

Na captação, a água do manancial, é conduzida por duas entradas de túneis com 270 m de comprimento por gravidade, até aos desarenadores. Nesses canais, a seção transversal é bastante aumentada e a velocidade é bastante reduzida, resultando no assentamento de sedimentos pesados, especialmente de areia do manancial (CEDAE, 2022a).

Em seguida, a água segue para o poço de sucção das elevatórias; esses elevadores geram energia suficiente no duto de aço com 3 km de percurso para transportar a água bruta até ao local de repouso para ser tratada. (INEA, 2022a).

2.5.2 Sistema de tratamento

O processo de tratamento na ETA Guandu consiste de coagulação química, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação (CEDAE, 2022a):

1 – Coagulação Química: são adicionados o coagulante químico e o polieletrólito para agrupar as impurezas;

2 – Floculação: nesta etapa, com o coagulante disperso, a água passa através de floculadores hidráulicos, cuja agitação controlada promove o choque das partículas e, conseqüentemente, sua aglutinação, formando os flocos;

3 – Decantação: a água entra nos tanques de sedimentação (decantadores), onde ocorre a redução da velocidade, fazendo os flocos já formados e mais pesados irem para o fundo;

4 – Filtração: a água clarificada é distribuída para o sistema de filtração. Os filtros são compostos por camadas de areia com granulometria capaz de reter as partículas mais finas ainda presentes na água clarificada;

5 – Desinfecção: é utilizado o cloro, para inativar microrganismos patogênicos;

6 – Correção de pH: a água é aduzida através de canais subterrâneos até as elevatórias de alto recalque. Nestes canais ocorre a adição da cal virgem para a correção de pH. Evitando assim a corrosão das tubulações (que ocorre quando o pH é baixo, tornando a água ácida) e as incrustações (que ocorre quando o pH é alto, tornando a água alcalina);

7 – Fluoretação: por fim, é feita a aplicação de flúor na água tratada como agente auxiliar no combate à cárie dentária, atendendo à determinação do Ministério da Saúde (CEDAE,2022b).

Para atender as normas de potabilidade, é necessária utilizar uma quantidade significativa de produtos químicos. As quantidades médias diárias desses produtos utilizados pela CEDAE na ETA Guandu estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidades diárias de produtos utilizados na ETA Guandu, para o ano de 2022

Produto	Quantidade (ton)
Sulfato de alumínio	180
Cloreto férrico	30
Cloro	15
Cal virgem	25
Ácido fluossilícico	10

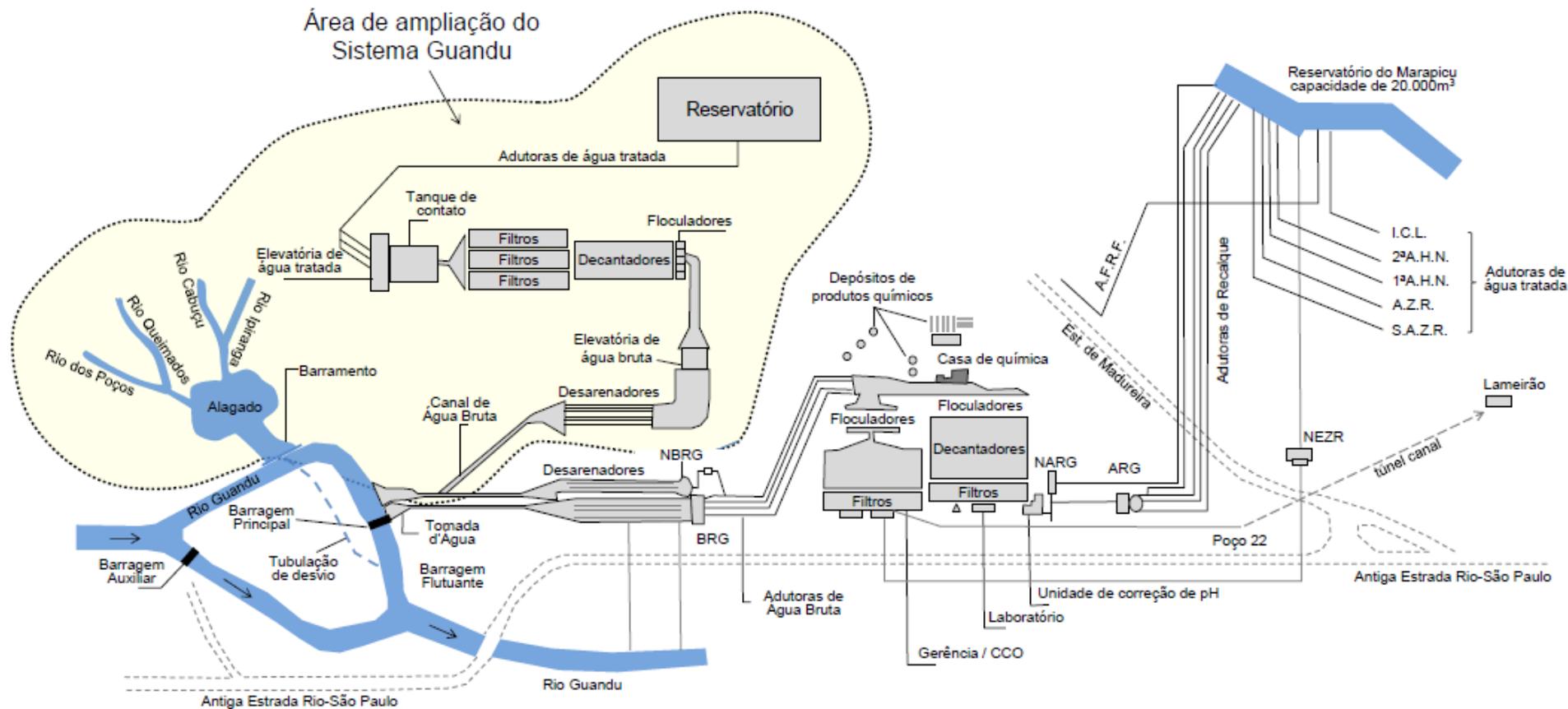
Fonte: CEDAE, 2022.

2.5.3 Ampliação da ETA Guandu

A fim de reforçar o abastecimento na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a CEDAE vai construir uma nova ETA: o Novo Guandu. Localizada em Nova Iguaçu, a ETA vai produzir mais 12 mil L/s de água, beneficiando 3 milhões de pessoas (CEDAE, 2022d). O sistema irá operar em conjunto com a ETA Guandu, totalizando a produção e o tratamento de 55 mil L/s para 12 milhões de habitantes na capital e na Baixada Fluminense. A obra está em fase de elaboração de edital, e a previsão de conclusão é no segundo semestre de 2025 (CEDAE, 2022d).

Ampliação do Sistema Guandu (Figura 10) aumentará em 30% a capacidade deste sistema (CEDAE, 2022a). Porém o ponto de captação será o mesmo e serão construídos canais desarenadores, reservatórios, elevatórias e adutoras de água bruta e tratada, conferindo maior segurança operacional e flexibilidade ao sistema e favorecendo as manutenções preventivas e corretivas no sistema atual (CBH GUANDU, 2015).

Figura 10 - Esquema geral da ETA Guandu e de sua ampliação, prevista para conclusão em 2025



Fonte: CEDAE, 2022e.

3 ADAPTAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO PARA A ETA GUANDU: AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Mananciais e sistemas de abastecimento público possuem características e atributos específicos. Portanto, a aplicação do modelo analítico requer, primeiramente, a identificação e seleção dos estressores, e os impactos associados que sejam considerados os mais relevantes para avaliar o risco à segurança hídrica da água bruta, no contexto da gestão da bacia hidrográfica (IKEMOTO, 2020).

Este capítulo tem por objetivo apresentar as adaptações e os complementos desenvolvidos para esta pesquisa de mestrado, a partir do modelo global de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público do oeste metropolitano da RMRJ / ETA Guandu, apresentado no item 2.3. O estudo dedica-se aos estressores que impactam diretamente a qualidade de água no ponto de captação da ETA Guandu, incluindo as condições ambientais das áreas drenantes aos mananciais, que se situam em áreas fortemente industrializadas e urbanizadas do país.

A identificação e seleção dos estressores bem como dos indicadores para sua mensuração (probabilidade da ocorrência do estressor; e severidade do impacto) foram realizadas a partir dos trabalhos de Nogueira (2011), Melo (2016), Silva (2017) e sobretudo Ikemoto (2020). Na sequência, procedeu-se a uma extensa pesquisa bibliográfica – revisão narrativa¹ e revisão sistemática² – que permitiu principalmente fazer uma caracterização dos estressores definidos para a área de estudo.

¹ As revisões narrativas não informam as fontes de informação utilizadas, a metodologia para busca das referências, nem os critérios utilizados na avaliação e seleção dos trabalhos. Constituem, basicamente, de análise da literatura publicada em livros, artigos de revista impressas e/ou eletrônicas na interpretação e análise crítica pessoal do autor (ROTHER, 2007).

² A revisão sistemática, ao contrário das revisões narrativas, é uma revisão planejada para responder uma pergunta específica e que utiliza métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos, e para coletar e analisar os dados destes estudos incluídos na revisão (ROTHER, 2007).

3.1 Adaptação realizada no modelo e nas métricas

Como visto anteriormente a segurança hídrica engloba alguns fatores, tais como “há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas”. Porém para realização deste estudo, a fim de torna-lo mais enxuto, o modelo foi adaptado considerando somente o estressor global “condições ambientais dos mananciais e qualidade da água bruta”, sendo este subdividido em outros estressores, melhor detalhado a seguir no item 3.3. Desta forma, não foram considerados empecilhos relacionados quantidade da água bruta, tais como: a disponibilidade hídrica e/ou perda de água na distribuição.

A escolhas dos estressores e indicadores foram baseadas em trabalhos anteriores, como de Nogueira (2009), Melo (2016), Silva (2017) e principalmente o trabalho da Ikemoto (2020). Diferindo em algumas métricas de avaliação, vistas a seguir:

Para o estressor “Uso e cobertura da terra” foi feito uma vasta pesquisa bibliográfica em trabalhos nacionais e internacionais, chegando-se à conclusão que o percentual de cobertura florestal de uma região para ser considerado bom deve ser acima de 40%, este adotado também por Ikemoto (2020).

Para o estressor “Degradação de APP” Melo (2016) e Ikemoto (2020) consideraram o mesmo percentual de cobertura florestal do estressor “Uso e cobertura da terra”. Porém, no entendimento deste estudo a mata ciliar de proteção de um rio deve ser preservada em 100%. Logo, foram utilizadas métricas mais rigorosas, consideradas pelo CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL (2021), conforme metodologia proposta por Salamene et al. (2011), sendo considerado bom o percentual de cobertura florestal da APP hídrica acima de 75%, detalhada no item 3.3 a seguir.

Para esse estudo foi realizado uma revisão sistemática, sobre o rio Guandu (vista a seguir no item 3.2), com intuito de analisar todos os trabalhos acadêmicos existentes no mesmo. A resultante desta pesquisa foi a adição dos “poluentes emergentes” na avaliação do risco ao modelo.

Enquanto nos outros trabalhos do grupo de pesquisa à matriz de vulnerabilidade da ETA e a matriz de risco associado aos estressores eram apresentadas de forma separadas, neste trabalho as mesmas foram integradas e apresentadas em uma só matriz. Em consequência, a análise dos indicadores de cada estressor leva em consideração os impactos causados à ETA Guandu.

3.2 Revisão sistemática

Optou-se por concentrar esta pesquisa na Bacia do rio Guandu, por ser a região de maior influência da área de estudo e pela proximidade com a ETA Guandu. Como esta bacia recebe as águas transpostas do rio Paraíba do Sul, indiretamente também é estudando as águas deste rio e dos poluentes presentes. Por esta razão não foi incluído a Bacia do Paraíba do Sul nesta revisão. Evitando assim todo o trabalho que uma revisão sistemática necessita, tendo em vista que esta bacia se estende até o norte do estado do Rio de Janeiro, conseqüentemente inúmeros trabalhos fora da região de estudo seriam encontrados.

Conforme apontado anteriormente, a revisão sistemática permitiu identificar estudos que: i) tivessem o rio Guandu e a ETA Guandu como objeto de estudo; ii) caracterizassem os estressores pré-selecionados; e iii) apontassem a pertinência de novos estressores não considerados nos trabalhos anteriores do Grupo de Pesquisa.

Foram escolhidas as plataformas Web of Science, Scopus e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Ressalte-se que a escolha dessas plataformas inclui outras de importância: a SciELO integra a Web of Science; a Scopus e a ScienceDirect fazem parte da Elsevier, logo há artigos que se repetem, porém na ScienceDirect ao realizar a busca foi encontrado artigos fora a região de estudo e em diferentes países, logo foi preferível utilizar a Scopus para aperfeiçoar a busca. Apesar da utilização da BDTD não ser muito usual para revisão sistemática, a mesma foi utilizada por se tratar de um objeto de estudo muito específico, no qual mesmo com uma busca bem aberta, com palavras-chave básicas, evidenciou-se a existência de poucos trabalhos acadêmicos, somando 145 trabalhos nas três plataformas.

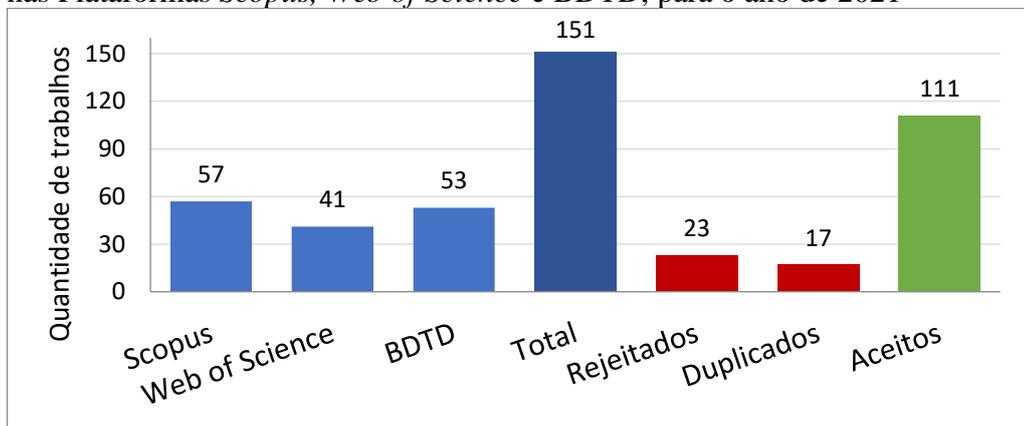
O levantamento de informações aconteceu durante o mês de julho de 2021. Depois de algumas tentativas, foram finalmente utilizadas as palavras-chave "Guandu river" ou "rio Guandu" ou "ETA Guandu" para realizar a busca, ao invés de "Bacia do rio Guandu"; esta última gerava um recorte significativo.

Os artigos foram pesquisados sem discriminação temporal, a fim de aumentar ainda mais a abrangência da pesquisa e mapear todos os trabalhos publicados em cada plataforma. Na plataforma Web of Science ao utilizar a palavra-chave "Guandu river" ou "ETA Guandu" e o filtro "All indexes", foram encontrados 36 artigos. Na plataforma Scopus ao utilizar a palavra-chave "Guandu river" ou "ETA Guandu" e o filtro "Article title, Abstract, Keywords", foram encontrados 57 artigos. Na plataforma BDTD, foi utilizado o filtro "All Fields" para todas as buscas: ao utilizar a palavra-chave "rio Guandu", foram encontradas 48 teses/dissertações; ao

utilizar a palavra-chave "Guandu river", foram encontrados 27 trabalhos (apenas 4 não estavam inclusos na pesquisa anterior); e ao utilizar a palavra-chave "ETA Guandu", foram encontradas 4 teses/dissertações (destas somente uma não estava incluída nas pesquisas anteriores), gerando um total de 53 trabalhos.

Na etapa da análise bibliográfica que consistiu em selecionar os artigos mais relevantes, buscou-se ler os títulos e resumos dos 145 artigos resultantes da pesquisa. Percebeu-se que, no processo de refinamento da seleção, 17 trabalhos levantados se repetiam nas bases de dados utilizadas e 23 deles não tratavam da área de estudo, restando, portanto, 111 trabalhos acadêmicos (Figura 11).

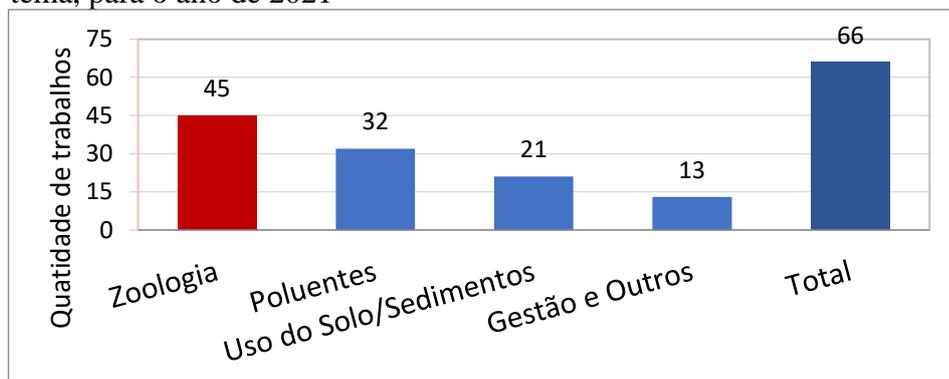
Figura 11 - Quantidade de trabalhos acadêmicos sobre o rio Guandu encontrados nas Plataformas *Scopus*, *Web of Science* e *BDTD*, para o ano de 2021



Fonte: Autor, 2021.

Na sequência, os 111 trabalhos acadêmicos foram organizados por temas: Zoologia, Poluentes, Uso da terra/Sedimentos e Gestão/Outros, conforme APENDICE A. Os trabalhos inclusos no tema Zoologia foram descartados por não terem sinergia com a temática da pesquisa, gerando um total de 66 trabalhos (Figura 12).

Figura 12 - Quantidade de trabalhos acadêmicos sobre o rio Guandu, por tema, para o ano de 2021



Fonte: Autor, 2021.

Num segundo momento, foi feita uma aproximação com o material coletado, no sentido de verificar a sua aderência à pesquisa. Foram assim selecionados os artigos que tratavam dos temas "Poluentes" e "Uso da terra e Sedimentos". Assim, foi feita uma leitura individual de cada trabalho acadêmico verificando a sua pertinência. Os trabalhos que mantinham relação com o objetivo da pesquisa foram selecionados para estudo. Os que não continham relação com o estudo em questão foram descartados. Desta forma, foram selecionados 9 trabalhos sobre "Poluentes" e 1 sobre "Uso da terra e Sedimentos", para compor respectivamente os tópicos "Poluentes Emergentes" e "Processos Erosivos".

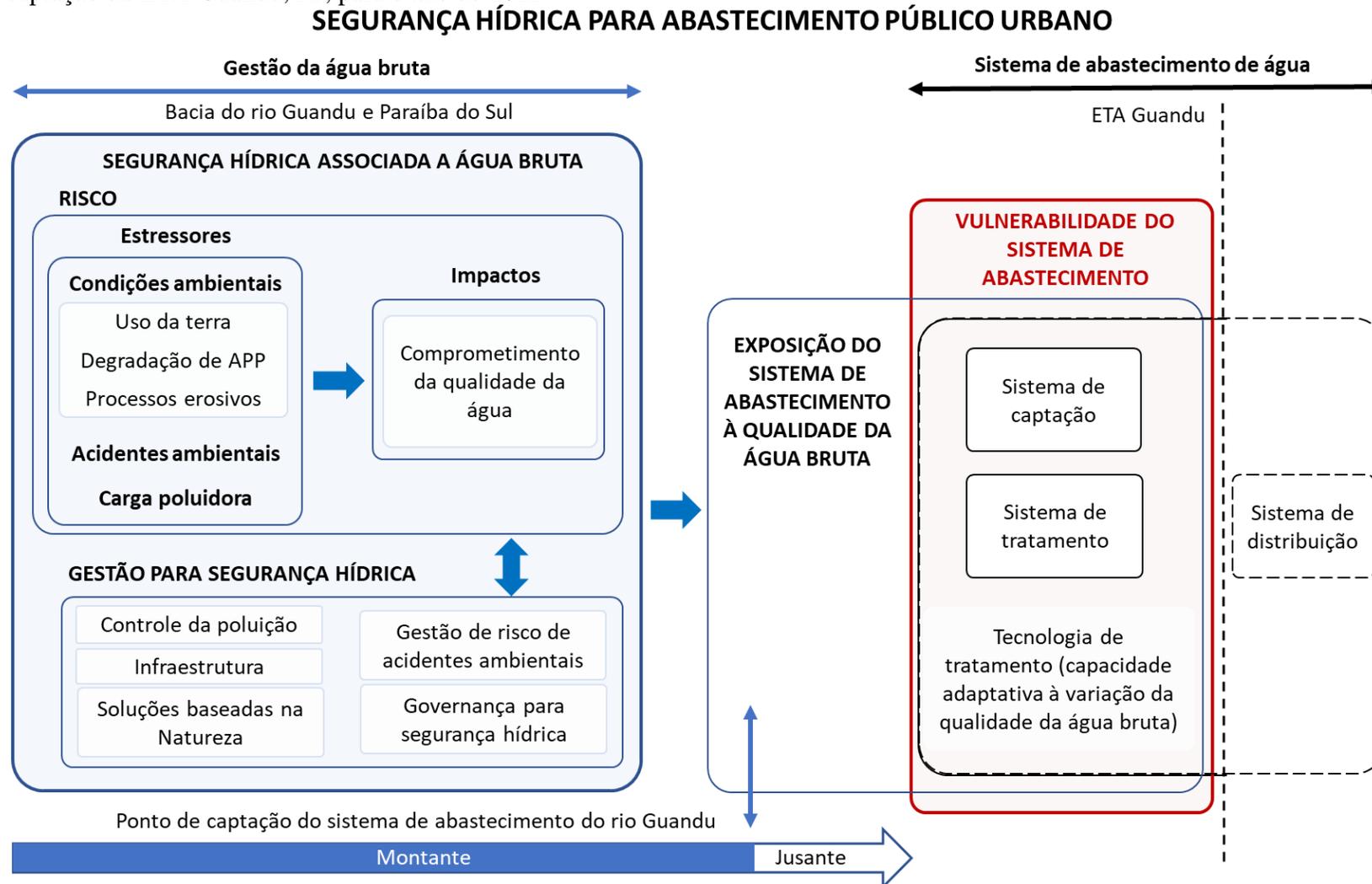
Esta revisão permitiu complementar a seleção de estressores (item 3.3) e a avaliação da ocorrência de estressores na área de estudo e seus impactos (Capítulo 4).

3.3 Seleção dos estressores à qualidade da água bruta no ponto de captação do sistema Guandu e indicadores

3.3.1 Estressores selecionados

Dentre os diversos e variados estressores que afetam a água bruta que abastece a ETA Guandu, apontados tanto na literatura quanto por especialistas e gestores, foram selecionados alguns estressores que compõem o estressor global “Condições Ambientais e qualidade da água”, todos relacionados às ações antrópicas sobre o meio ambiente que possam comprometer a qualidade da água bruta e a provisão dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica. São eles: “Uso e cobertura da terra”, “Degradação de APP”, “Processos erosivos”, "Acidentes ambientais" e “Carga poluidora” (Figura 13).

Figura 13 - Modelo analítico adaptado para avaliação do nível atual de segurança hídrica da qualidade da água bruta no ponto de captação da ETA Guandu, RJ, para o ano de 2022



Fonte: Autor, 2022, adaptado de Ikemoto, 2020.

Segue uma breve explicação sobre cada um desses estressores, cuja graduação é definida em função da sua ocorrência e severidade do seu impacto, conforme indicado (novamente) no Quadro 3.

Quadro 3 - Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade

Graduação	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Baixo	Casos raros ou isolados	Definida de acordo com os indicadores específicos apresentados no quadro 4
Moderado	Ocorrência irregular	
Alto	Ocorrência regular ou quase constante	

Fonte: Ikemoto, 2020.

3.3.2 Ocorrência do estressor

A ocorrência de cada estressor foi feita por meio de uma análise qualitativa tendo como referência os dados disponíveis na literatura sobre o tema, tanto acadêmica (revisão bibliográfica narrativa e sistemática) quanto relatórios e documentos oficiais (por exemplo, planos de bacia e estudos do Instituto estadual do Ambiente - INEA).

Idealmente, esta parte da pesquisa deveria ser complementada por um painel de especialistas, o que não possível realizar no âmbito deste mestrado.

3.3.3 Severidade do impacto

A graduação da severidade do impacto foi definida para cada estressor, considerando suas características mensuráveis, traduzidas na forma de indicadores quali-quantitativos, que foram adaptados e definidos para a aplicação do modelo analítico na Bacia do rio Guandu e do rio Paraíba do Sul em função dos dados existentes e disponíveis para realização desta pesquisa. A severidade do impacto foi atribuída por meio das características mensuráveis e indicadores, abaixo discriminados e sintetizados no Quadro 4, adiante:

O estressor “**Uso e Cobertura da Terra**” expressa o nível de mudanças antrópicas na bacia, incluindo os percentuais de cobertura florestal da bacia, a extensão das áreas urbanas e das áreas agropastoris. Indicadores: se há perda de cobertura vegetal (área desmatada na totalidade da bacia) no período analisado; e cobertura florestal na bacia (porcentagem de cobertura vegetal). Para este último, adotou-se como referência os limiares mínimos de 40% por unidades de paisagem para assegurar a integridade das comunidades bióticas e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em médio e longo prazo propostos por Andren (1994) e Banks-Leite *et al.* (2014) (apud IKEMOTO e NAPOLEÃO, 2018).

Contudo, há bastante discussão a respeito deste limite. Por exemplo:

- Melo (2016) considerou como referência o Código Florestal para Reserva Legal em propriedades rurais que estabelece que 20% da propriedade deve ser conservada, conforme Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012);
- Banks-Leite *et al.* (2014) descobriram que 30% de cobertura florestal protegeria os vertebrados da Mata Atlântica brasileira;
- Andren (1994), argumenta que quando a paisagem apresenta abaixo de 30% de cobertura florestal, os efeitos da fragmentação, perda de espécies e a diminuição do tamanho das populações tendem a ser mais drásticos;
- Rigueira *et al.* (2013) documentam limiares de 40% para plantas lenhosas para o mesmo bioma;
- Arroyo-Rodríguez *et al.* (2021) informa que o critério de 40% de cobertura florestal é adequado para a maioria das espécies na maioria das paisagens;
- Banks-Leite *et al.* (2021) argumentam que aplicar um limite “fixo” a “qualquer paisagem” é “inútil e potencialmente perigoso” porque os limites de extinção variam entre espécies e regiões.

Dentre toda essa discussão optou-se por utilizar a faixa determinada conforme Ikemoto e Napoleão (2018), com base nos estudos de Banks-Leite *et al.* (2014), onde as unidades com percentuais superiores a 40% são menos suscetíveis aos efeitos da fragmentação, da diminuição do tamanho das populações, da perda de espécies e possuem alto potencial ambiental para a conservação e restauração florestal; unidades com percentuais entre 20-40% de cobertura florestal requerem aumento da quantidade de habitat e apresentam maior potencial de recuperação e efeito positivo sobre a manutenção da diversidade local; e unidades com percentuais de cobertura florestal inferiores a 20% tem maior probabilidade de serem dominados por espécies generalistas e requerem maiores investimentos e esforços de intervenção para recuperação até atingir os limiares mínimos.

O estressor "**Degradação de Área de Preservação Permanente (APP) hídrica**" pode intensificar o processo de erosão e assoreamento dos corpos hídricos, além de comprometer a qualidade da água. O mesmo indica se uma área protegida está coberta ou não por vegetação nativa. Pois este tem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas a médio e longo prazo (BRASIL, 2012). Além de funcionarem como barreiras naturais à ação da poluição difusa (MELO, 2016).

Indicador: percentual de cobertura florestal na Faixa Marginal de Proteção (FMP). O grau de degradação das faixas marginais de proteção foi classificado como “Baixo, “Moderado” e “Alto”, adaptado de CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL (2021), conforme metodologia proposta por Salamene *et al.* (2011), onde:

1. Baixo grau de degradação: superior a 75% de Áreas Naturais³;
2. Moderado grau de degradação: de 50% a 75% de Áreas Naturais;
3. Alto grau de degradação: inferior a 50% de Áreas Naturais.

O estressor “**Processos Erosivos**” está associado a intensificação da erosão do solo e do assoreamento dos cursos de água. Em curto prazo, a ação desse estressor é sentida principalmente sobre a qualidade das águas da bacia hidrográfica e do manancial, com mudança de coloração da água, elevação da turbidez e de sólidos suspensos. Quando há baixa cobertura florestal ou prática agrícola em áreas declivosas e frágeis, ocorre maior transporte e carreamento de sedimentos e poluentes para a rede de drenagem (MERTEN; MINELLA, 2002). Importa ressaltar as grandes dificuldades relacionadas à mensuração deste estressor. Dos trabalhos anteriores do Grupo de Pesquisa, somente Ikemoto (2020) empreendeu um estudo quantitativo para este estressor, em outra bacia de estudo (Guapiaçu-Macacu). Indicadores: sedimentos retidos e exportados para rede de drenagem; paralizações ou redução da capacidade da ETA por excesso de sedimentos; além de dois componentes do IQA (sólidos suspensos e turbidez).

O estressor “**Acidentes Ambientais**” podem comprometer a qualidade das águas do manancial, o impacto deste componente é função direta da intensidade com que ocorre. Os acidentes ambientais podem ser provenientes de efluentes industriais, minerários, entre outros, ou de fontes móveis, como é o caso de cargas poluidoras liberadas em acidentes com meios de transporte. Em resumo, o estressor surge como consequência de qualquer evento anormal, indesejado e inesperado, com potencial para causar danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger. Os acidentes ambientais são facilmente detectáveis quando ocorrem com alta intensidade. Ao contrário, quando sua intensidade é menor, a detecção é mais difícil, pois os efeitos desse estressor podem se confundir com os efeitos dos poluentes

³ Áreas Naturais englobam a formação florestal, campo alagado e área pantanosa (SALAMENE *et al.*, 2011).

ordinários (SILVA, 2017). Indicadores: quantidade de acidentes com produtos perigosos nas bacias; paralização da ETA por contaminação; e elementos de alto risco presentes nas bacias.

O estressor “**Carga Poluidora**” pode resultar na deterioração da qualidade da bacia hidrográfica e do manancial. Os poluentes são aqueles oriundos de lançamentos, pontuais e difusos, de carga poluidora com origem principalmente nos esgotos sanitários, nos efluentes industriais e agroindustriais, na mineração, no uso de agroquímicos e efluentes de criação animal e na inadequada disposição dos resíduos sólidos. A carga poluidora é facilmente detectável, independentemente da intensidade com que ocorram. A expansão urbana desordenada, agravada pela ausência ou baixas taxas de coleta e tratamento dos efluentes industriais e domésticos no meio ambiente, é um determinante das origens desse estressor. Indicadores: índice de coleta e tratamento de esgoto; carga orgânica poluidora doméstica gerada e remanescente; e taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos domésticos.

Para dar uma visão compreensiva das métricas de cada estressor quanto à severidade dos seus impactos, foi feito um quadro-resumo apresentado a seguir.

Quadro 4 - Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público

Estressor		Indicadores	Unid.	Grau de severidade e valores de referencia		
Condições ambientais	Uso e cobertura da terra	Perda de cobertura florestal	%	Severidade do impacto		
				● Baixa	● Média	● Alta
	Ganho de cobertura (<0)	Estabilidade (0)	Perda de cobertura (>0)			
				>=40	>=20 e <40	<20
		Percentual de cobertura florestal	%	Fonte: Ikemoto & Johnsson (em elaboração)		
Degradação de APP	Percentual de APP hídrica conservada	%	● Baixo grau de degradação	● Moderado grau de degradação	● Alto ou muito alto grau de degradação	
			Área florestal superior a 75%	Área florestal de 50% a 75%	Área florestal inferior a 50%	
			Fonte: Adaptado Salemene <i>et al.</i> (2011)			
Processos erosivos	Sedimentos exportado para rede de drenagem	ton./ano	Classificação qualitativa considerando os impactos observados na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA			
	Sedimentos retidos na bacia	%				
Acidentes Ambientais	Registro histórico de acidentes com produtos perigoso na região	-				
Carga poluidora	Índice de coleta de esgoto	%	Classificação		Severidade	
	Índice de tratamento de esgoto		● <50% (ruim)	● Alta		
	Taxa de resíduos sólido coletado		● >50 e <90% (regular)	● Média		
			● >90% (bom)	● Baixa		
			Fonte: CRHi (2010)			

	Carga orgânica doméstica lançada/ gerada (kg. DBO5,20/dia)	%	Classificação qualitativa considerando os impactos observados na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA
--	--	---	---

Fonte: Adaptado de Ikemoto, 2020.

3.4 Comprometimento da qualidade da água bruta

A qualidade de água não é um estressor e sim um indicativo de como está a saúde da bacia. O comprometimento da qualidade da água pode ser caracterizado pela “falta ou insuficiência de água” (ANA, 2014), em qualidade apropriada para o consumo humano, mesmo havendo disponibilidade quantitativa de água, conforme regulamentação da Resolução CONAMA nº 357/2005 que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento” (alterada pela Resolução CONAMA nº 410/2009 e pela CONAMA nº 430/2011).

Neste estudo, a qualidade de água é avaliada pelos seguintes indicadores:

- Índice de Qualidade de Água (IQA);
- Percentual de amostras em (des)conformidade com os limites legais dispostos para a classe de enquadramento dos corpos hídricos da bacia (classe 2 e 3 para águas doces) em relação ao total; e
- Poluentes emergentes, este avaliado de forma qualitativa, verificando informações disponíveis acerca da concentração dos poluentes nos corpos hídricos e o impacto de cada poluente na saúde humana. Os “Poluentes Emergentes” podem ser provenientes de qualquer substância química sintética ou de ocorrência natural que não é comumente monitorada no ambiente, os quais os riscos para saúde humana e para o meio ambiente não são totalmente compreendidos. São compostos principalmente orgânicos presentes em produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, hormônios, aditivos alimentares, pesticidas, plastificantes, conservantes de madeira, detergentes para roupas, desinfetantes, surfactantes, retardantes de chama e outros compostos orgânicos na água gerados principalmente por atividades humanas (TANG *et al.*, 2019).

O Quadro 5 resume os indicadores e suas métricas para avaliar a qualidade da água bem como a forma de avaliação do sub-estressor “poluentes emergentes”.

Quadro 5 - Parâmetros para avaliação do comprometimento da qualidade da água bruta

Caract. Mensurável		Indicadores	Unidade	Grau de severidade e valores de referencia												
Comprometimento da qualidade da água	Qualidade da água (IQA)	IQA média	-	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>●</td> <td>$100 \geq IQA_{média} \geq 90$ (Excelente)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>$90 > IQA_{média} \geq 70$ (Boa)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>$70 > IQA_{média} \geq 50$ (Média)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>$50 > IQA_{média} \geq 25$ (Ruim)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>$25 > IQA_{média} \geq 0$ (Muito ruim)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: INEA (2022)</p>	Classificação		●	$100 \geq IQA_{média} \geq 90$ (Excelente)	●	$90 > IQA_{média} \geq 70$ (Boa)	●	$70 > IQA_{média} \geq 50$ (Média)	●	$50 > IQA_{média} \geq 25$ (Ruim)	●	$25 > IQA_{média} \geq 0$ (Muito ruim)
		Classificação														
	●	$100 \geq IQA_{média} \geq 90$ (Excelente)														
●	$90 > IQA_{média} \geq 70$ (Boa)															
●	$70 > IQA_{média} \geq 50$ (Média)															
●	$50 > IQA_{média} \geq 25$ (Ruim)															
●	$25 > IQA_{média} \geq 0$ (Muito ruim)															
Percentual do total amostras em desconformidade com enquadramento (parâmetros do IQA)	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>●</td> <td>0% (em conformidade)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>>0,1 e <25% (desconformidade ocasional)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>>25 e <50% (desconformidade frequente)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>> 50 e <80% (desconformidade muito frequente)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>>80% (constante)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Ikemoto (2020)</p>	Classificação		●	0% (em conformidade)	●	>0,1 e <25% (desconformidade ocasional)	●	>25 e <50% (desconformidade frequente)	●	> 50 e <80% (desconformidade muito frequente)	●	>80% (constante)		
Classificação																
●	0% (em conformidade)															
●	>0,1 e <25% (desconformidade ocasional)															
●	>25 e <50% (desconformidade frequente)															
●	> 50 e <80% (desconformidade muito frequente)															
●	>80% (constante)															
Poluentes emergentes	Registro e estudos disponíveis	-	Classificação qualitativa considerando os impactos observados e potenciais na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA													

Fonte: Adaptado de Ikemoto, 2020.

3.5 Ações de gestão

Uma das maiores problemáticas de áreas urbanas é a precariedade dos serviços de saneamento básico. A falta de coleta e tratamento dos efluentes domésticos traz impactos à qualidade de corpos hídricos que se encontram na área de influência (DE SOUZA, 2021).

Baseada na revisão bibliográfica e nos trabalhos anteriores do Grupo de Pesquisa, Formiga-Johnsson e Melo (2016), foram enumeradas cinco ações como sendo de maior interesse para a segurança hídrica em termos de qualidade de água bruta da ETA Guandu, entre elas ações operacionais de gerenciamento e ações institucionais de gestão e governança das águas:

1. Controle da poluição;
2. Infraestrutura (retenção de poluentes);
3. Soluções baseadas na Natureza;
4. Gestão de risco de acidentes ambientais;
5. Governança para segurança hídrica.

Foram consideradas as ações de gestão relacionadas a intervenções tanto do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, instituídos pela Lei Federal nº 9.433/97 e leis estaduais, quanto do sistema de gestão ambiental. Sendo estas ações relacionadas à prevenção, mitigação

ou controle dos efeitos adversos que os estressores podem causar a qualidade da água bruta utilizada para o abastecimento urbano. Visando garantir que os riscos associados à segurança hídrica, permaneçam em níveis aceitáveis.

4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA DA QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA NO PONTO DE CAPTAÇÃO DA ETA GUANDU

Este capítulo apresenta e discute os resultados provenientes da aplicação da metodologia de análise qualitativa para determinar o nível de segurança hídrica da ETA Guandu e do abastecimento do oeste metropolitano do Rio de Janeiro, em termos de qualidade de água bruta, a partir da avaliação de cada um dos estressores selecionados para caracterizar as condições ambientais e a qualidade dos mananciais. Em seguida, procedemos a uma análise qualitativa da vulnerabilidade/capacidade adaptativa da ETA Guandu em relação à qualidade da água no ponto de captação, de modo a determinar o risco associado a cada um desses estressores e o nível global de segurança hídrica em termos de qualidade da água.

4.1 Condições ambientais dos mananciais de abastecimento

Como definido na metodologia de avaliação da segurança hídrica, os estressores “processos erosivos”, “uso e cobertura da terra” e “degradação de APP hídrica” são interrelacionados e foram selecionados para expressar as condições ambientais dos mananciais de abastecimento e o risco associado à qualidade dos recursos hídricos.

4.1.1 Estressor “Uso e cobertura da terra”

Considerando a expressiva extensão da área de estudo e das diferentes características e condições ambientais ao longo de seu território, os resultados foram apresentados e analisados em dois agrupamentos hidrográficos: (i) o primeiro abrange a região montante da transposição na Bacia do Paraíba do Sul, nas regiões do Médio Paraíba do Sul e da parte alta da Bacia, na parte paulista; e (ii) o segundo engloba a Bacia do rio Guandu, a montante da ETA Guandu.

Toda a área de estudo situa-se na região de abrangência da Mata Atlântica, apresentando 25% do bioma preservado, segundo o MapBiomias (2022). Conforme apontado pelos diferentes planos das Bacias Paraíba do Sul e Guandu, toda essa região hidrográfica encontra-se consideravelmente descaracterizada em relação às condições ambientais originais, consequência da construção de barragens, regularização de seus rios e, sobretudo, da devastação ambiental provocada pela expansão desordenada, urbana e industrial.

Em relação à dinâmica do uso e cobertura da terra nessas duas Bacias, foi utilizado a base de dados do Projeto MapBiomas para Mata Atlântica, Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil para os anos de 1985, 2000 e 2020, na escala de 1:100.000, disponíveis no site do MapBiomas, sendo comparáveis entre si por adotar a mesma metodologia de classificação.

Adotou-se a classificação de uso da terra do MapBiomas, com uma pequena adaptação: a classe "Mosaico de Agricultura e Pastagem" do MapBiomas foi ampliada para "Mosaico de Agricultura/Pastagem/Várzea", com base na comparação do mapa gerado e a imagem de satélite da região no Google Earth, que engloba áreas de várzea também.

4.1.1.1 Bacia do rio Paraíba do Sul

Na Bacia do rio Paraíba do Sul a destruição das florestas acentuou-se na segunda metade do século XVIII, a partir da expansão das lavouras de café no Vale do Paraíba, causando a destruição das formações primárias, criando uma paisagem moldada pela mão humana (SANTOS, 2017). A cafeicultura expandiu-se nesta bacia às custas da destruição das florestas em extensas queimadas e de plantios, resultando em rápidas perdas de produtividade e início de processos intensos de erosão e degradação das terras, que se perpetuaram com a substituição do café pela pecuária, ocupando grandes áreas de pastagens naturais ou implantadas em sistema de produção extensivo de pastagens (CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL, 2021).

A bacia encontra-se atualmente consideravelmente descaracterizada em relação às condições ambientais originais, não somente pela extensa devastação da cobertura vegetal por conta dos ciclos econômicos, mas também pela expansão urbana e industrial às margens do rio Paraíba do Sul e pela construção de barragens ao longo do século XX (ARAÚJO, 2015; CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL, 2021).

Em suma, o processo de ocupação e uso da terra na Bacia do rio Paraíba do Sul resultou na completa transformação de uma paisagem predominantemente florestal para uma paisagem “não-florestal”, hoje dominada pela pastagem e agricultura, que ocupa uma das maiores parcelas das terras na área de estudo da Bacia do rio Paraíba do Sul.

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do rio Paraíba do Sul mais atual, referente ao ano de 2020 (Tabela 2 e Figura 14), permite evidenciar que a região em estudo apresenta área com cobertura vegetal regular, com 32,95% de formação florestal e 3,36% de floresta plantada, ocupando 36,30% (612.703 ha) da área da bacia. A zona urbana representa

4,45% da região de estudo, concentrada em praticamente toda sua totalidade às margens do rio Paraíba do Sul.

Os impactos ambientais relacionados ao crescimento das atividades agropastoris do passado ainda refletem no estado de conservação da Bacia. Estas somam 56,68% (956.517 ha) da área total da área de estudo da Bacia Paraíba do Sul, sendo muitas vezes áreas erodidas e degradadas. Desse total, a pastagem representa 34,82% da área total da bacia, seguido pela categoria agricultura/pastagem/várzea com 17,83%; lavouras temporárias, lavouras perenes, aquicultura, soja e cana com 4,03%, no ano de 2020 (Tabela 2).

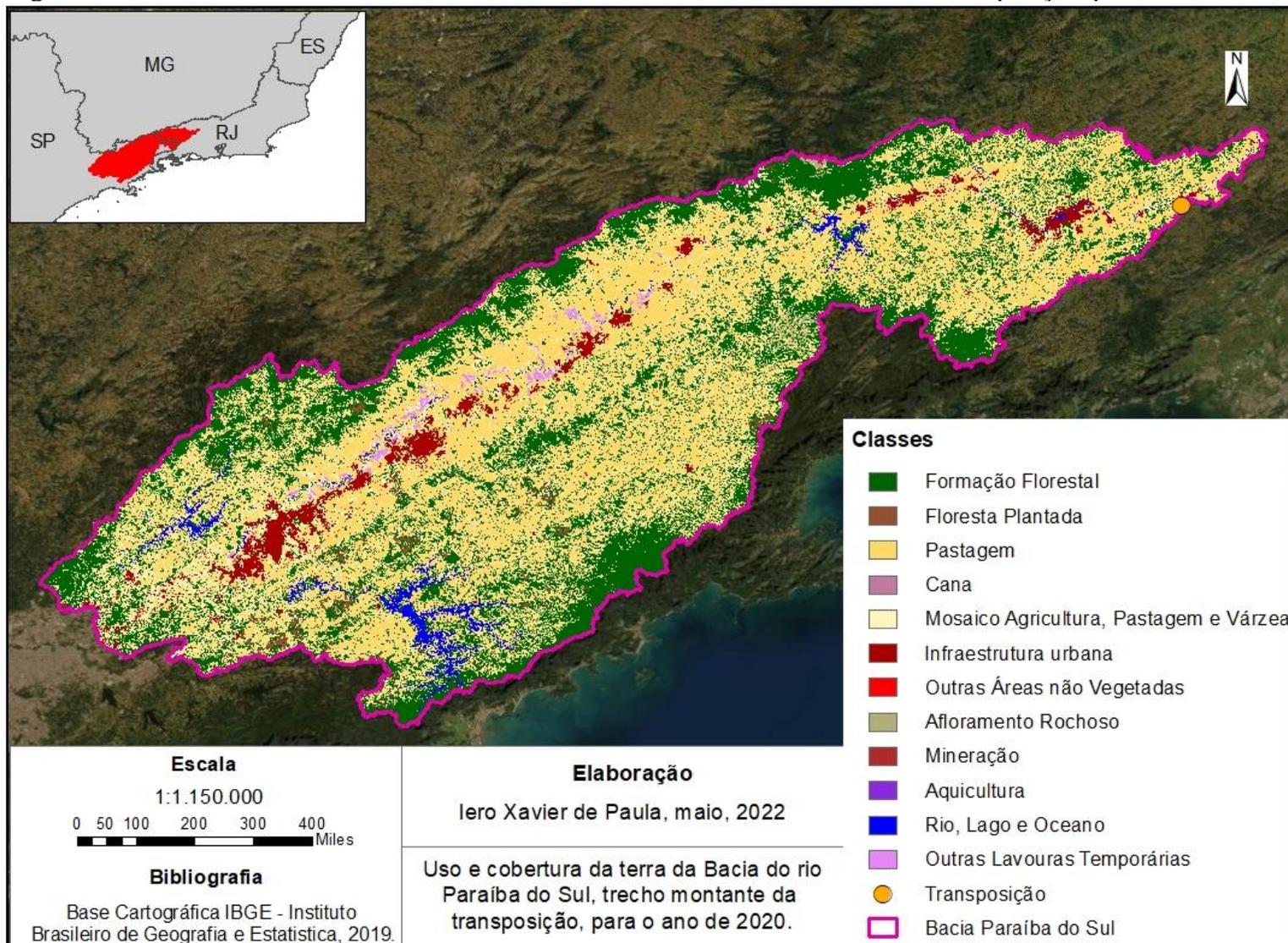
Observou-se também a redução de 7,83% (132.212 ha) de área de pastagem e redução de 0,26% (4.421 ha) de agricultura/pastagem/várzea, no período entre 1985 e 2020. No mesmo período, a formação florestal teve diminuição de 0,82% (13.877 ha) e aumento de 2,99% (50.450 ha) para floresta plantada, resultando num aumento de 2,17% de cobertura florestal. Ocorreu também o aumento de 2,51% (42.352 ha) de infraestrutura urbana, principalmente no entorno de manchas urbanas já existentes, que se localizam nas margens do rio Paraíba do Sul (Tabela 2).

Tabela 2 - Uso e cobertura da terra da Bacia do rio Paraíba do Sul, do trecho a montante da transposição, para os anos 1985, 2000 e 2020 e variação para o período

Uso e cobertura do solo (ano)	1985		2000		2020		Variação 1985-2020	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Área								
Formação Florestal	569.933	33,77	550.716	32,63	556.056	32,95	-13877	- 0,82
Floresta Plantada	6.198	0,37	19.400	1,15	56.647	3,36	50450	2,99
Pastagem	719.826	42,65	756.373	44,82	587.614	34,82	-132212	- 7,83
Cana	21	0,00	284	0,02	435	0,03	414	0,02
Agricultura, Pastagem e Varzea	305.404	18,10	258.897	15,34	300.983	17,83	-4421	- 0,26
Infra Urbana	32.772	1,94	53.170	3,15	75.123	4,45	42352	2,51
Outras áreas não vegetadas	2.597	0,15	1.403	0,08	2.135	0,13	-463	- 0,03
Afloramento rochoso	4.374	0,26	6.284	0,37	10.766	0,64	6392	0,38
Mineração	1.209	0,07	1.115	0,07	257	0,02	-952	- 0,06
Aquicultura	27	0,00	647	0,04	1.757	0,10	1730	0,10
Rio, lago	29.577	1,75	30.231	1,79	30.180	1,79	603	0,04
Lavoura Perene	0	-	0	-	2.753	0,16	2753	0,16
Soja	0	-	0	-	23	0,00	23	0,00
Lavouras Temporárias	15.794	0,94	9.214	0,55	62.982	3,73	47188	2,80
Área total da bacia (ha)	1.687.732							

Fonte: Autor, 2022, com dados do MapBiomas para o ano 2020.

Figura 14 - Uso e Cobertura da terra da Bacia do Paraíba do Sul, trecho a montante da transposição, para o ano de 2020



Fonte: Autor, 2022, com dados do MapBiomias para o ano 2020.

Dessa forma, os dados dos intervalos de tempo avaliados indicam que não houve variação significativa na área de cobertura florestal nativa, sendo que alguma variação foi substituída por floresta plantada. Porém pode ocorrer o empobrecimento da biodiversidade e da integridade dos fragmentos florestais, principalmente nas margens da Paraíba do Sul, sujeita aos efeitos da fragmentação e pressão das áreas urbanas e agrícolas. Além disso, a região se encontra exposta a filtros ambientais que podem estar impedindo o desenvolvimento dela, como a predominância de gramíneas e do gado, nas áreas de pastagem, que durante todo o período analisado representou a maior área da bacia.

4.1.1.2 Bacia do rio Guandu

A Bacia do Guandu e seu entorno tem grande valor histórico, pois sua história se relaciona à da cidade do Rio de Janeiro e está cresceu e se tornou capital política, econômica, social, cultural e turística. A ocupação agrícola relacionada aos ciclos de pujança econômica do país (cana-de-açúcar, ouro, café e laranja) afetou sensivelmente a região em termos de degradação ambiental (EMBRAPA, 2010).

Os núcleos urbanos continuam se expandindo, especialmente nas sub-bacias dos rios Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga, assim como a ocupação industrial e a extração de minerais para a construção civil (areia, principalmente). No entanto, a área ocupada com campos/pastagens ainda predomina na bacia, com frequentes queimadas e ausência de matas ciliares, o que contribui para o aporte de sedimentos e poluentes para os rios.

A região da Bacia do rio Guandu tem extensas áreas de solo exposto ou impermeabilizado pela ocupação urbana, logo é mais vulnerável à redução da quantidade de água nos rios em períodos de estiagem, especialmente em anos com menores índices de chuva (INEA, 2014).

Foram comparadas as variações percentuais de ocorrência de cada classe de uso e ocupação da terra para a Bacia do rio Guandu, entre 1985 e 2020 (Tabela 3). Observou-se uma redução de 0,42% da área de agropecuária, produto do aumento de 1,96% de área de pastagem e redução de 2,34% de área de agricultura/pastagem/várzea. Houve um aumento de 3,68% da zona urbana em relação a área total da Bacia do Guandu. Já a formação florestal teve uma redução de 3,70% no período, podendo vir a gerar o empobrecimento da biodiversidade e integridade dos fragmentos florestais, principalmente nas margens do rio Guandu, mais sujeita

aos efeitos da fragmentação e da pressão das áreas urbanas e agropastoris. As variações de floresta plantada e lavouras temporárias foram irrelevantes.

Uma análise mais atual do mapeamento do uso e cobertura da terra da Bacia do rio Guandu, referente ao ano de 2020 (Tabela 3), permite verificar que a região em estudo apresenta área com cobertura vegetal considerada aceitável, com 45,67% de formação florestal e 0,04% de floresta plantada, ocupando 45,74% (110.606 ha) da área da bacia. Já a infraestrutura urbana representa 4,76% (11.509 ha) da área.

Tabela 3 - Uso e cobertura da terra da área de estudo na Bacia do Guandu para os anos de 1985, 2000 e 2020 e variação para o período

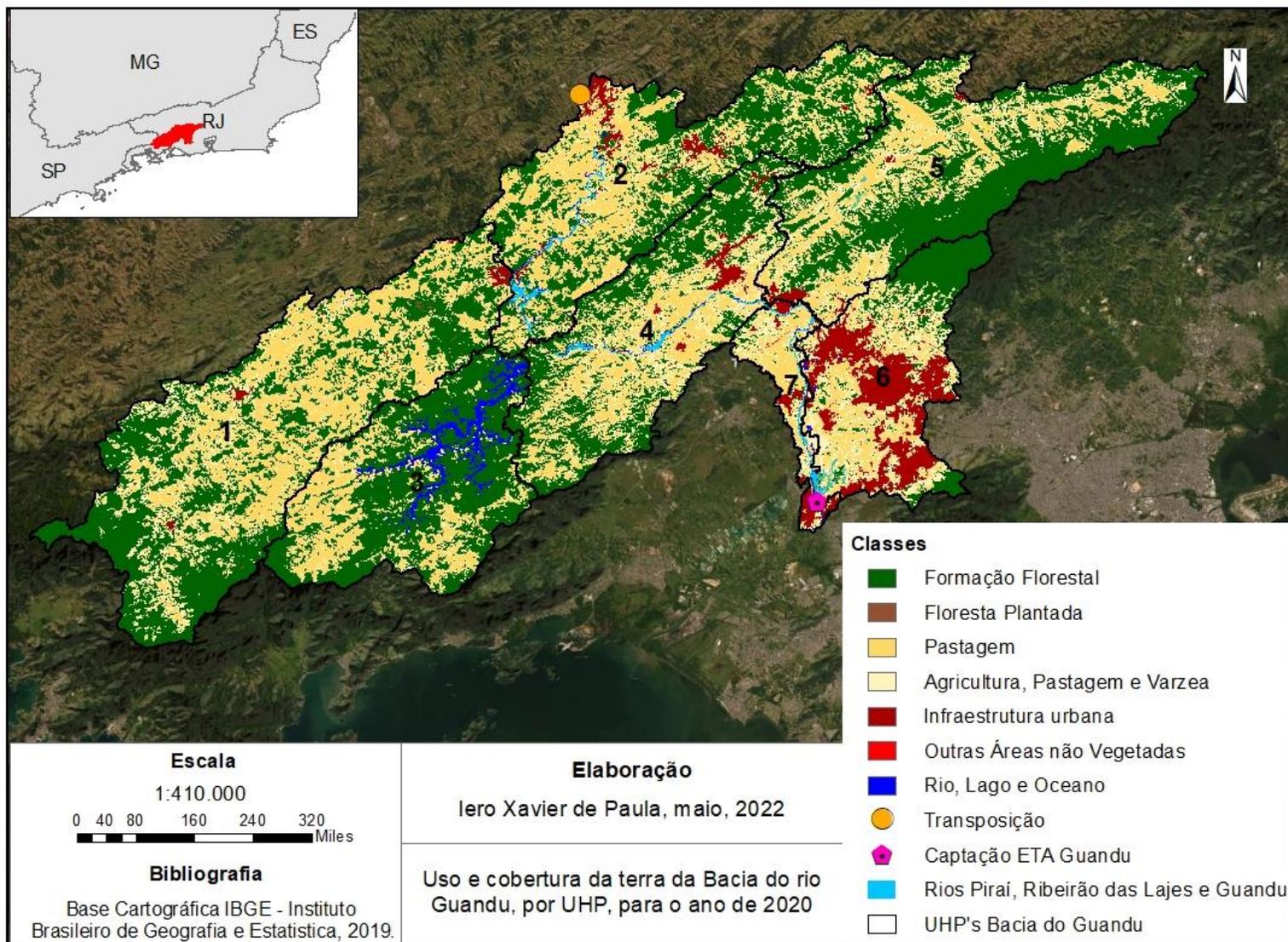
Uso e cobertura do solo (ano)	1985		2000		2020		Variação 1985-2020	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Área								
Formação Florestal	119.450	49,39	117.499	48,59	110.504	45,69	-8946	-3,70
Floresta Plantada	0	0,00	33	0,01	102	0,04	102	0,04
Pastagem	74.959	31,00	87.120	36,02	79.688	32,95	4729	1,96
Agricultura	41.114	17,00	27.395	11,33	35.456	14,66	-5658	-2,34
Infra Urbana	2.618	1,08	6.309	2,61	11.509	4,76	8891	3,68
Outras áreas não vegetadas	756	0,31	323	0,13	226	0,09	-530	-0,22
Formação Natural não Florestal	0	0,00	0	0,00	535	0,22	535	0,22
Mineração					15	0,01	15	0,01
Rio, lago	2.846	1,18	3.157	1,31	3.800	1,57	955	0,39
Lavouras Temporárias	93	0,04	0	0,00	0	0,00	-92	-0,04
Área total da bacia (ha)	241.835							

Fonte: Autor, 2022, com dados do MapBiomias para o ano 2020.

Os impactos ambientais relacionados ao crescimento das atividades agropastoris do passado ainda refletem no estado de conservação da Bacia. Em 2020, estas somavam 47,61% (115.144 ha) da área de estudo da bacia, sendo 32,95% de pastagem e 14,66% de agricultura/pastagem/várzea (Tabela 3).

As UHP's 2, 4, 6 e 7 apresentam menor cobertura florestal (respectivamente, 43,5%, 42,1%, 22,7% e 6,4%), maior área agropastoril (respectivamente, 51,6%, 54,0%, 47,2% e 70,9%) e maior infraestrutura urbana (respectivamente, 3,5%, 2,7%, 28,3% e 17,5%), em relação as demais UHPs da bacia (Tabela 4). Estas por sua vez apresentam maior influência ao rio Guandu, pois o corpo hídrico Piraí, Ribeirão das Lajes e Guandu cruza as UHPs 2, 4 e 7 e cruza toda a margem oeste da UHP 6, na qual possui a maior densidade urbana da bacia e consequentemente maior geração de efluentes (Figura 15).

Figura 15 - Uso e Cobertura da Bacia do Guandu, para o ano de 2020, a montante da ETA Guandu, subdividido por UHP's



Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do MapBiomass, 2020.

Tabela 4 - Uso e cobertura da terra na área de estudo da Bacia do Guandu subdividido por UHP, para o ano 2020

UHP	1	2	3	4	5	6	7
Formação Florestal	48,0%	43,5%	61,1%	42,1%	54,7%	22,7%	6,4%
Floresta Plantada	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	1,0%	1,3%
Pastagem	37,6%	38,6%	24,9%	34,5%	27,6%	25,8%	43,0%
Agricultura, Pastagem e Várzea	13,3%	13,0%	6,3%	19,5%	16,1%	21,4%	27,9%
Infra Urbana	0,7%	3,5%	0,0%	2,7%	1,1%	28,3%	17,5%
Outras áreas não vegetadas	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,7%
Rio, lago	0,1%	1,4%	7,7%	1,0%	0,0%	0,6%	3,2%

Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do MapBiomias, 2020.

4.1.2 Estressor “Degradação de APP hídrica”

As Áreas de Preservação Permanente (APPs), instituídas pelo Código Florestal em 1965 e mantidas pelo novo Código Florestal de 2012 (Lei Federal nº 12.651/2012), representam elemento integrador da cobertura vegetal; conforme definido pelo Plano Nacional de Áreas Protegidas, as APPs devem ser consideradas no planejamento da paisagem com a função estratégica de conectar os fragmentos florestais (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

As APPs são definidas no artigo 3º, inciso II do novo Código como “áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

O Atlas de Proteção dos Mananciais do estado do Rio de Janeiro – desenvolvido pelo Instituto Estadual do Ambiente para identificar áreas prioritárias para proteção ambiental (INEA, 2018a) – aponta uma alta demanda por restauração florestal nas APPs da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH III), atingindo, em média, mais de 60% das denominadas Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais (AIPMs).

O mesmo estudo conclui que, na Bacia do rio Guandu, a AIPM 1 (Sistema Guandu) e AIPM 8 (Sistema Pirai) foram aquelas que proporcionalmente apresentaram a menor área de APP florestada, com respectivamente 42,84% e 37,31% (INEA, 2018a).

Para fins de avaliação da situação das APPs de faixas marginais, no contexto desta pesquisa de mestrado, foi avaliado o uso e cobertura da terra das faixas marginais de proteção do rio Paraíba do Sul, no trecho a montante da transposição até a cabeceira do mesmo e na Bacia do rio Guandu, no trecho que abrange o rio Pirai (desde a entrada de água da transposição), o Ribeirão das Lajes e o rio Guandu (a montante da captação da ETA Guandu).

Com base em imagens do Google Earth, estimou-se uma faixa marginal de proteção de 100 metros, com base pelo novo Código Florestal, já que os corpos d'água possuem entre 30 e 90 metros de largura no rio Guandu e entre 50 a 200 metros no rio Paraíba do Sul (sem considerar os reservatórios que superam 200 metros em alguns trechos).

O geoprocessamento foi realizado no ArcMap 10.6, o mapeamento de uso da terra e cobertura florestal foi realizado para o ano de 2020, na escala 1:100.000. Foi realizado a vetorização do trecho em estudo, no formato *shapefile*, a partir do qual foi gerado um *buffer* de 100 metros de distância para cada lado do rio e outro de 1000 metros, a fim de comparação e melhor visualização no mapa.

Em relação ao uso da terra, foram definidas seis classes para o rio Guandu: formação florestal, campo alagado e área pantanosa, pastagem, mosaico agricultura/pastagem/várzea, infraestrutura urbana e outras áreas não vegetadas; e para o rio Paraíba do Sul foram definidas oito classes: formação florestal, floresta plantada, campo alagado e área pantanosa, pastagem, mosaico agricultura/pastagem/várzea, infraestrutura urbana, aquicultura, outras lavouras temporárias e outras áreas não vegetadas.

Apesar do percentual de cobertura florestal de 36,30% na Bacia do rio Paraíba do Sul no ano de 2020, as áreas naturais na APP do trecho em estudo, incluindo a formação florestal, floresta plantada e campo alagado e área pantanosa, representaram 19,5% da área total da APP hídrica e 15,0% para o *buffer* de 1000 m (Tabela 5).

Tabela 5 - Percentual do uso e cobertura da terra das APPs do rio Paraíba do Sul a montante da transposição, para *buffer* de 100 m e 1000 m, no ano de 2020

Buffer (raio)	100 m	1000 m
Formação Florestal	19,3%	14,2%
Floresta Plantada	0,0%	0,8%
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,1%	0,0%
Pastagem	15,9%	25,2%
Mosaico Pastagem, Agricultura e Várzea	20,6%	15,4%
Infra Urbana	16,0%	18,8%
Outras Lavouras Temporárias	25,4%	23,2%
Aquicultura	2,3%	2,0%
Outras áreas não vegetadas	0,3%	0,4%

Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do MapBiomias, 2020.

Embora o percentual de cobertura florestal de 45,74% na Bacia do rio Guandu no ano de 2020, as áreas naturais na APP do trecho em estudo, representaram 25,0% da área total da APP hídrica e 19,0% para o *buffer* de 1000 m, concentrada aos arredores do reservatório de

Ponte Coberta e Vigário (Figura 16 e Tabela 6). Evidenciando que a cobertura florestal é mais degradada nas margens de ambos os rios.

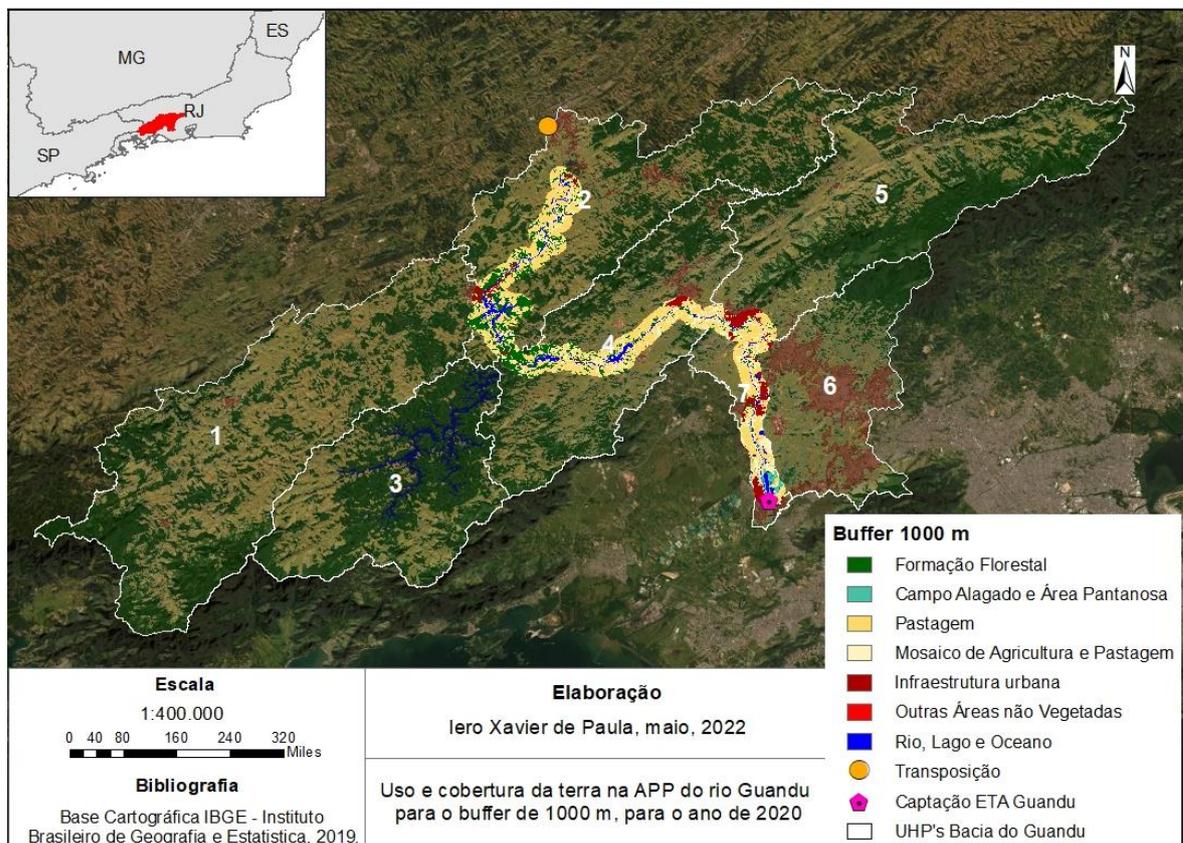
Tabela 6 - Percentual do uso e cobertura da terra da APP do rio Guandu e formadores, para buffer de 100 m e 1000 m, no ano de 2020

Buffer (raio)	100 m	1000 m
Formação Florestal	21,4%	19,0%
Campo Alagado e Área Pantanosa	3,6%	1,3%
Pastagem	28,4%	47,1%
Mosaico Pastagem, Agricultura e Várzea	41,6%	23,2%
Infra Urbana	4,6%	9,1%
Outras áreas não vegetadas	0,5%	0,3%

Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do MapBiomias, 2020.

Quanto ao uso antrópico da terra (agricultura, pastagem e infraestrutura urbana), as classes totalizaram 74,5% das áreas da APPs na Bacia do rio Guandu. O mosaico de pastagem/agricultura/várzea foi o uso mais expressivo, cobrindo 41,6% das APPs, provavelmente por abranger as áreas de várzea nas margens dos rios. Porém, cabe ressaltar a degradação ainda maior do entorno: ao analisar uma área mais ampla (buffer de 1000 m), observa-se o predomínio da pastagem (47,1%).

Figura 16 – Uso e cobertura da terra na APP do rio Guandu e formadores para o buffer de 1000 m, no ano de 2020



Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do MapBiomias, 2020.

Ou seja, os fragmentos florestais encontram-se muito reduzidos quanto ao tamanho de suas áreas, sofrendo grande influência do efeito de borda, o que pode comprometer a sua sustentabilidade ambiental.

4.1.3 Estressor “Processos erosivos”

O manejo inadequado no solo e a interferência antrópica podem provocar o desenvolvimento e/ou a aceleração dos processos erosivos. Dentre os principais impactos, pode-se destacar o assoreamento de rios e reservatórios, a perda de qualidade da água, perdas de solos férteis, modificação da hidráulica fluvial e da dinâmica de sedimentação fluvial, aumento da frequência e impacto das inundações, dentre outros (IKEMOTO, 2020).

A extração de areia é uma atividade recorrente e impactante, principalmente na Bacia do rio Guandu, que gera prejuízos ambientais relativos à alteração da paisagem e eliminação de solos cultiváveis, além do assoreamento e a alteração da qualidade das águas dos corpos hídricos (NOGUEIRA, 2011). Ainda segundo a autora durante sua pesquisa a atividade de extração de areia no leito do rio Guandu, já havia sido praticamente extinta. Porém ainda exige importantes medidas a serem tomadas para garantir, a recuperação da calha fluvial e a recuperação da mata ciliar atualmente degradada, conforme observado na UHP 7 (Figura 17).

A região da Bacia do Paraíba do Sul, tanto a parte paulista como a do Médio Paraíba do Sul vem apresentando problemas com erosões, à medida que ocorre o crescimento urbano e com a expansão da atividade rural, há aumento do escoamento superficial e há ocorrências de processos erosivos na região, inclusive voçorocas, que acabam carreando sedimentos para os cursos hídricos, ocasionando assoreamento (REGEA, 2016; e CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL, 2021).

Segundo Jordão *et al.* (2017) há uma elevada concentração de finos a jusante da Usina Elevatória (UEL) Santa Cecília e montante do reservatório de Funil, trecho onde os tributários estão próximos das cabeceiras das serras Bocaina e Mantiqueira, zona de produção rápida e intensa de sedimentos finos. Segundo o autor, aspecto agravado devido a prática não conservacionista do uso e ocupação da terra na região.

Entre a UHE Funil e UEL Sta. Cecília, os afluentes da margem esquerda são os principais contribuintes de sedimento para o rio Paraíba do Sul (DE ARAUJO, 2015). O autor sinaliza que este lado da margem foi, historicamente, mais desmatado e hoje apresenta

processos erosivos avançados e loteamento precarizado. Dentre os afluentes, destacam-se os rios Sesmarias, Barreiro de Baixo e Bananal (JORDÃO, 2017).

Conforme Jordão *et al.* (2017), a comparação das descargas com outros estudos no mesmo trecho nota-se estimativas bem diferentes (Figura 17). Devido há alguns fatores tais como, período distinto, divergência da fonte de dados de concentração de sedimentos em suspensão e a utilização não recomendada de média histórica neste tipo cálculo, pois a amplitude entre o máximo e o mínimo varia em mais de duas ordens de grandeza. Desta forma, os valores extremos acabam desviando a media, resultando em subestimações.

Figura 17 - Comparação das descargas anuais de sedimentos finos, material depositado e eficiência de retenção de diferentes estudos

	Ano hidrológico		BIRD...	Molisani <i>et al.</i>	COHIDRO
	2014 – 2015	2015-2016	(1997)	(2006)	(2014)
UEL Sta. Cecília					
\bar{Q}_{bomb} (m ³ /s)	114	107	NI	160	140
Q_{s1} (t/ano)	72.701	128.634	1.400.000 ^(a)	584.000	634.441
UHE P. Passos					
\bar{Q}_{def} (m ³ /s)	108	108	168	175	NI
Q_{s2} (t/ano)	30.411	51.244	322.000	270.000	NI
Sistema de Transposição					
Depositado (t/ano)	42.290	77.390	NI	980.000	NI
Eficiência de Retenção (%)	58	60	NI	78	NI

Fonte: Jordão *et al.*, 2017.

Segundo Jordão *et al.* (2017), no ano típico, entre 15/04/2015 e 14/04/2016, a descarga de sólidos suspensos foi de 128.634+/-3.877 t/ano, bombeada pela Usina Elevatória de Santa Cecília. Ou seja, segundo o autor a água desviada no rio Paraíba do Sul para o rio Guandu já vem com uma quantidade elevada de sedimentos, pois a passagem da água pelo sistema é rápida, impedindo que parte sedimento fino seja retida nos reservatórios.

De acordo com Jordão (2017), foram transportados 51.244+/-3.961 t/ano de sólidos da Bacia do rio Paraíba do Sul para Bacia do rio Guandu ao longo de um ano, entre 15/04/15 e 14/04/16. No entanto, os reservatórios de Santana, Vigário e Ponte Coberta, situados na Bacia do rio Guandu a montante do ponto de captação da ETA Guandu, retêm cerca de 60% desse total de sedimentos advindos da transposição (JORDÃO, 2017). O autor conclui ainda que, naquela época, o reservatório de Vigário era o principal responsável pela retenção de sólidos suspensos no Sistema Guandu.

Conforme o relatório da WRI Brasil (2018) o total de sedimentos carreados para os cursos d'água na Bacia do rio Guandu é de aproximadamente 152 mil t/ano. Essa dinâmica gera uma carga média de sólidos suspensos de 84,8 mg/L nos corpos de água que fluem para a ETA, o que implica uma turbidez média de 28,7 NTU (BARBIERI *et al.*, 2018).

A avaliação feita no escopo deste trabalho identificou um baixo percentual de amostras de turbidez em desconformidade com o enquadramento para Classe 2 na estação GN200 próximo a captação da ETA Guandu no rio Guandu, entre 2012 e 2021, apenas 2 de 95 amostras ou 2,1% do total, resultando em uma desconformidade ocasional, muito próximo dos limites de conformidade e para sólidos suspensos nenhuma amostra foi considerada acima do limite superior para o mesmo período (ver Tabela 11, no item 4.4.2 adiante).

No entanto, mesmo com praticamente a totalidade dos valores dentro da conformidade, a CEDAE precisa utilizar uma enorme quantidade de produtos químicos por conta da alta vazão de água tratada ($\sim 43 \text{ m}^3/\text{s}$) e pela qualidade da água bruta. Comparando com a ETA Laranjal, em São Gonçalo, a ETA Guandu consome proporcionalmente a quantidade de água tratada, 60% a mais de produtos químicos, indicando uma pior qualidade de água (CEDAE, 2021c).

Segundo Nogueira (2011), a cobertura florestal no trecho fluminense da Bacia do Paraíba do Sul, não era suficiente à época para atenuar a condição de vulnerabilidade do meio físico à erosão. Porém, os rios Pirai, Ribeirão das Lajes e Guandu possuem baixa cobertura florestal em suas margens, conforme Figura 16. Além disso, na UHP 7 na Bacia do rio Guandu, trecho com maior proximidade da ETA Guandu, há baixa cobertura florestal (9,46%), o que pode agravar os processos erosivos.

Por fim, ressalte-se que, no período chuvoso, a vulnerabilidade da ETA Guandu aumenta, devido à intensa turbidez, chegando até mesmo a paralisar parcialmente a Estação. Durante o período de 2000 a 2010, por exemplo, a ETA Guandu foi parcialmente paralisada 22 vezes, em função do grande aporte de sedimentos no rio Guandu (NOGUEIRA, 2011). Mais recentemente, em 2022, a ETA teve sua capacidade de operação reduzida (à 88% da capacidade) em dois momentos, pelo mesmo motivo de chuvas intensas (CEDAE, 2022c).

4.1.4 Síntese e avaliação do risco associado aos estressores “condições ambientais” dos mananciais de abastecimento

Com base na avaliação semi-quantitativa das condições ambientais dos mananciais de abastecimento, foi estimado o risco para a qualidade de água no ponto de captação do sistema Guandu, para cada estressor:

- **“Uso e cobertura da terra”**: O nível de cobertura florestal na Bacia do rio Paraíba do Sul (PdS) está abaixo do aceitável, em 36,3% e na Bacia do rio Guandu é aceitável (45,7%). Porém estes não são uniformemente distribuídos ao longo das bacias. As sub-bacias as margens do rio Paraíba do Sul e Guandu concentram percentuais de cobertura florestal baixos, com intensa atividade agropastoril e elevada infraestrutura urbana. Por exemplo: as UHPs 6 e 7 da Bacia do rio Guandu, localizadas mais próximas a ETA Guandu, possuem baixo percentual de cobertura florestal (22,7% e 6,4%, respectivamente), elevado percentual de infraestrutura e atividade agropastoril e houve diminuição de 3,7% da cobertura florestal na Bacia do rio Guandu no período analisado (Figura 18). Portanto, avaliou-se globalmente a severidade do estressor e ocorrência do impacto, como médio, gerando um risco médio.

Figura 18 - Síntese do estressor “Uso e cobertura da terra”

Estressor	Indicadores	Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto	
Uso e cobertura da terra	Perda de cobertura florestal (1985-2020) da Bacia do PdS	● +2,17%	● Baixa	● Baixa	
	Percentual de cobertura florestal da Bacia do PdS	● 36,30%	● Média	● Média	
	Perda de cobertura florestal (1985-2020) da Bacia do Guandu	● -3,70%	● Alta	● Alta	
	Percentual de cobertura florestal da Bacia do Guandu	● 45,74%	● Baixa	● Baixa	
	Percentual de cobertura florestal próximo a captação ETA Guandu	UHP 6	● 22,70%	● Média	● Média
		UHP 7	● 6,40%	● Alta	● Alta

Fonte: Autor, 2022.

- **“Degradação de APP”**: Na Bacia do rio Guandu as áreas naturais (que incluem cobertura florestal, campo alagado e área pantanosa) na APP hídrica de 100 m de largura no trecho a jusante da transposição, no rio Guandu e formadores até o ponto de captação da ETA Guandu é de 25,00% e na Bacia do rio Paraíba do Sul a montante da transposição até a cabeceira do rio Paraíba do Sul é de 19,46%. Indicando que a cobertura florestal em ambas as Bacias é mais degradada nas margens dos rios, possuindo alto grau de degradação e alta ocorrência desse estressor. Por isso, avaliou-se a severidade do impacto desse estressor como alta, nos períodos chuvosos observa-se aumento da turbidez do rio Guandu e presença de poluentes emergentes

em maiores quantidades, oriundos de atividade agropecuária e, da baixa cobertura florestal nas FMPs. Mesmo já existindo projetos de recuperação da mata ciliar, avaliou-se, portanto, o risco resultante como alto (Figura 19).

Figura 19 - Síntese do estressor “Degradação de APP”

Estressor	Indicadores	Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Degradação de APP	Percentual de APP hídrica conservada (Guandu)	● 25,00%	● Alta	● Alta
	Percentual de APP hídrica conservada (PdS)	● 19,46%	● Alta	● Alta

Fonte: Autor, 2022.

• **“Processos erosivos”**: Conforme descrito anteriormente o processo de erosão do solo e assoreamento dos corpos hídricos ocorre ao longo de toda a bacia do Paraíba do Sul, a jusante do ponto de transposição. Porém, a erosão provocada por uso inadequado do solo, também é responsável pelo aumento significativo do aporte de sedimentos ao longo do curso do rio Guandu. Desta forma, as águas transpostas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu vem com uma quantidade elevada de sedimentos. Entretanto, os reservatórios de Santana, Vigário e Ponte Coberta, são responsáveis pela retenção de 60% dos sedimentos nesta bacia. Os valores de turbidez e sólidos dissolvidos totais encontram-se dentro dos limites da classe 2 de enquadramento no ponto de captação pela ETA Guandu e não aparentam apresentar um atual risco ou dificultador para o tratamento de água. Porém, no período chuvoso, a vulnerabilidade da ETA Guandu aumenta, devido a intensa turbidez, chegando até mesmo a paralisar parcialmente a Estação. Dado o exposto, avaliou-se como média tanto a ocorrência do estressor quanto a severidade do impacto, gerando um risco médio (Figura 20).

Figura 20 - Síntese do estressor “Processos erosivos”

Estressor	Indicadores	Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Processos Erosivos	Sedimentos exportado para rede de drenagem	128/152 m ³	● Média	● Média
	Sedimentos retidos na bacia do rio Guandu	60%	● Média	● Média

Fonte: Autor, 2022.

■ ■ ■

Para sintetizar os resultados da avaliação qualitativa do risco associado aos estressores relacionado as condições ambientais dos mananciais de abastecimento da ETA Guandu, foi elaborada uma matriz de risco com a indicação da ocorrência de cada sub-estressor e a severidade dos impactos correspondentes, que traz embutido ações adaptativas e de gestão (Figura 21).

Figura 21 – Matriz de risco dos estressores condições ambientais

		Severidade e adaptação ao impacto do estressor		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta			"Degradação de APP"
	Média		"Uso e cobertura da terra" e "Processos Erosivos"	
	Baixa			

Fonte: Autor, 2022.

4.1.5 Ações de Gestão para aumentar a segurança hídrica

Segundo Du *et al.* (2022) as práticas de manejo conservacionista, preferencialmente o cultivo de cobertura e a agrossilvicultura diminuiriam significativamente a erosão do solo e o escoamento superficial. Assim como a implementação de práticas de preparo reduzido e suporte estrutural com melhor eficiência de escoamento e retenção de sedimentos, como trincheiras, terraços e diques de solo reforçados com gramíneas, têm um alto potencial para controlar a perda de solo e a degradação da terra em áreas suscetíveis à erosão (EBABU *et al.*, 2022).

A adoção de medidas de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) relacionadas a boas práticas agropecuárias podem contribuir para redução do aporte de poluentes de origem da atividade agropecuária na bacia, em especial, o aporte de Fósforo, Nitrogênio, sedimentos, agrotóxicos, adubos solúveis e metais pesados proveniente das lavouras e dejetos de produção animal (UN-WATER, 2018). Conforme o PERH Guandu (2018), os projetos para revitalização de rios e lagoas estão na fase de planejamento. A elaboração de projetos para recuperação de áreas degradadas e saneamento rural em microbacias, e o incentivo à conservação e uso sustentável dos recursos naturais em áreas rurais estão em fase inicial.

Na Bacia do rio Guandu já vêm sendo executadas ações de recuperação de mata ciliar do rio Guandu e formadores, há 15 anos foi desenvolvido o Decreto Estadual nº 40.670, de 2007, que dispõe sobre a criação da área de proteção ambiental do rio Guandu (APA Guandu). Na sequência foi criado o projeto Parques Fluviais, com um dos propósitos de reflorestar a mata ciliar na APA Guandu, principalmente no município de Paracambi.

O programa Produtores de Água e Floresta (PAF), é desenvolvido há 13 anos pelo Comitê Guandu-RJ e organizações parceiras, com o objetivo de aumentar a cobertura florestal na Bacia do rio Guandu. O programa é umas das primeiras iniciativas no país a utilizar o

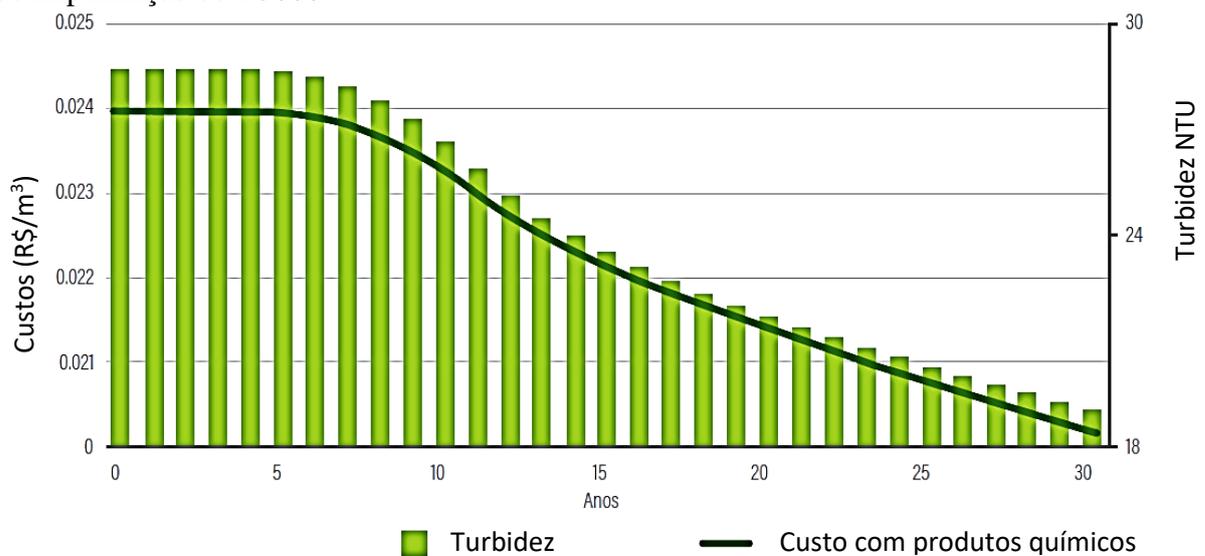
pagamento por serviços ambientais (PSA) como instrumento de gestão diretamente relacionado à oferta de serviços hidrológicos (CBH GUANDU, 2021).

As atividades estão muito concentradas nos municípios de Rio Claro, Mendes, Engenheiro Paulo de Frontin e Vassouras. Os produtores recebem apoio técnico e operacional do PAF para a melhoria na provisão dos serviços ambientais e uma retribuição financeira, de acordo com ganho ambiental obtido na propriedade. Só em Rio Claro/RJ cerca de 4.400 hectares de Mata Atlântica foram recuperados ou conservados pelo programa, além de gerar renda aos produtores locais e conscientização, tornando-os agentes de promoção ambiental (CBH GUANDU, 2021).

Recentemente a CEDAE em conjunto com o Projeto Replantando Vida anunciou que irá plantar um milhão de árvores ao longo do rio Guandu, com intuito de reflorestar a matar ciliar, em 8 km de trecho a montante da ETA Guandu, num período de 5 anos (CEDAE, 2021a).

Segundo Barbieri *et al.* (2018a) a restauração florestal na Bacia do rio Guandu de três mil hectares de pastagens com elevado grau de erosão (concentradas nos municípios Miguel Pereira e Rio Claro) reduziria em 33% o escoamento de sedimentos para os cursos d'água e o total de sedimentos exportados diminuiria potencialmente em 70%, evitando, assim, o uso de quatro milhões de toneladas de produtos químicos e de 260 mil MWh em energia elétrica na ETA Guandu, com economia de R\$ 259 milhões, ao longo de 30 anos (Figura 22).

Figura 22 - Turbidez estimada e custos de produtos químicos por ano, ao longo dos 30 anos de implantação de R3000



Fonte: Barbieri *et al.* (2018a).

4.2 Estressor “acidentes ambientais” sobre os mananciais de abastecimento

O risco de acidentes ambientais que podem prejudicar o pleno funcionamento da ETA Guandu envolve toda a região hidrográfica a montante do ponto de captação, ou seja: a Bacia do rio Guandu a montante da ETA e toda a Bacia do rio Paraíba do Sul a montante da transposição.

Nesta dissertação, será apresentado um panorama geral do risco de acidentes de fontes fixas e móveis, envolvendo produtos perigosos, dentro da área de estudo, no trecho entre o reservatório do Funil, na porção fluminense da Bacia do rio Paraíba do Sul próxima ao Estado de São Paulo, e a ETA Guandu, que compreende: i) os afluentes de primeira ordem do rio Guandu a montante da ETA (rios Santana, São Pedro, Macacos, Ipiranga, Queimados e Ribeirão das Lajes); ii) o rio Piráí; e iii) o rio Paraíba do Sul em seu trecho fluminense entre Funil e Santa Cecília. Deste modo, será dimensionado a vulnerabilidade da ETA Guandu frente a exposição a esses poluentes, de acordo com os trabalhos de Viana (2009), Viana *et al.* (2012) e do Plano de Contingência de Abastecimento da ETA Guandu (2015).

O Plano de Contingência abrange a região de estudo a montante da ETA Guandu até o município de Volta Redonda, onde se situa a indústria siderúrgica CSN que já provocou vários acidentes ambientais em décadas passadas. O Plano é um conjunto de documentos que definem ações específicas e integradas, de diferentes tipos (preventivas, de preparação, resposta, recuperação e mitigação), com enfoque principal em situações de acidentes, que possam gerar poluição acidental, atingindo mananciais superficiais e afetar captações utilizadas para abastecimento público.

Dentro da área de estudo, na área de influência da ETA Guandu, Viana (2009) e Viana *et al.* (2012) identificaram duas ferrovias (FCA e MRS) e 12 rodovias utilizadas como rota para transportar produtos de matéria prima, assim como para escoamento da produção industrial, incluindo transporte de produtos perigosos, principalmente a do Médio Paraíba do Sul, sendo a principal rodovia a Via Dutra (BR-116). Entre 2000 e 2013, a BR-116 foi responsável por 70,9% dos acidentes com produtos perigosos na área de estudo (Tabela 7).

Tabela 7 - Acidentes com produtos perigosos na região de estudo, entre 2000 e 2013

Tipo de Acidente	Total	Total (%)
BR-116	124	70,9
BR-393	9	5,1
RJ-125	1	0,6
RJ-127	1	0,6
Outras rodovias	1	0,6
Indústrias	13	7,4
Disposição inadequada	12	6,9
Postos	6	3,4
Comercial	5	2,9
Ferrovia MRS	2	1,1
Dutos	1	0,6
Total	175	100,0

Fonte: SOPEA (2013), Viana (2009) e Viana *et al.* (2012).

De acordo com a Resolução ANTT nº 420/2004 (ANTT, 2004), produtos perigosos são substâncias ou artigos encontrados na natureza ou produzidos por qualquer processo que, por suas características físico-químicas, representem risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente.

4.2.1 Poluição proveniente de acidentes de fontes fixas

A ETA Guandu está localizada a jusante de diversas indústrias e outras atividades potencialmente poluidoras, principalmente na Bacia do rio Paraíba do Sul (Médio Paraíba). Segundo o Plano de abastecimento (CBH GUANDU, 2015), a região em estudo é muito vulnerável à contaminação por acidentes ambientais dos recursos hídricos por indústrias (69,1%), em relação aos demais empreendimentos listados, no Anexo A. Desta forma, este estudo terá enfoque maior nesta fonte de poluição.

Entretanto, a temática das indústrias apresenta a pior base de dados disponível, entre todos os elementos-foco. Em geral, não há informações consistentes disponíveis sobre principais matérias-primas e produtos perigosos utilizados ou manuseados; tipos e quantidades de resíduos e efluentes gerados, seu controle e destinação; material transportado de/para as indústrias; e registro de acidentes. O Plano coletou informações indiretas, através dos registros de outorgas, junto ao INEA e ANA, e elaborou um mapa para melhor visualização destes empreendimentos industriais, conforme no Anexo B. Porém, os dados disponíveis são insuficientes para uma análise mais consistente para fins de risco e plano de contingência (CBH GUANDU, 2015).

Conforme o Plano de Contingência da RH II de 2015, há 164 indústrias nas áreas estudadas e mais 40 em seus arredores imediatos. Os municípios com maior vulnerabilidade de contaminação em relação aos demais da região são: Volta Redonda com 22% (18,9% relacionados a poluição industrial), e Seropédica com 17,7% (7% relacionado a poluição industrial e 8,7% a atividade de mineração).

No Médio Paraíba do Sul, destacam-se a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda, a Siderúrgica de Barra Mansa e Prosifer Comércio de Ferro e Aço. Porém, há uma gama de indústrias de menor porte do ramo de construção civil, têxtil, químicas, ressaltando-se a produção de herbicidas, silicatos, alumínio, borracha e cimento, além de indústrias alimentícias, com destaque para a criação de aves.

As Indústrias Nucleares do Brasil (INB), empresa responsável pela exploração do urânio, desde a mineração, beneficiamento, produção, até a montagem de elementos combustíveis que acionam os reatores das usinas nucleares Angra 1 e 2, têm um total de quatro pontos de captação no Médio Paraíba, muito próximos ao reservatório do Funil, que com os outros cinco pontos de captação da Nuclebras Equipamentos Pesados, na Bacia do rio Guandu, formam o grupo das indústrias nucleares (NOGUEIRA, 2011).

O minério de urânio extraído é transportado até Resende (RJ), onde é dissolvido, convertido em gás e reconvertido em pó, que, na forma de pastilha, é acondicionado e transportado até as usinas nucleares de Angra. Esse trajeto inclui várias áreas residenciais e de produção de alimentos, mesmo que não existam registros de sua ocorrência de acidentes, é digno de atenção (NOGUEIRA, 2011).

No município de Seropédica a maioria das indústrias e das empresas de mineração estão a jusante da ETA Guandu. Desta forma, a região que apresenta o maior grau de exposição a acidentes ambientais de fontes fixas é a do Médio Paraíba do Sul, em função do seu importante parque industrial, com presença de grandes indústrias.

Segundo Nogueira (2011), de 2000 até 2010, entre as dezenas de ocorrências de emergências ambientais tecnológicas, somente três acidentes foram considerados como de grande magnitude, sendo dois deles localizados na região do Médio Paraíba do Sul e um acidente na Bacia do rio Guandu (Figura 23).

Figura 23 - Principais acidentes ambientais tecnológicos, de fontes fixas, na área de influência da ETA Guandu (2000-2010)

DATA	EMPREENHIMENTO	DESCRIÇÃO DO ACIDENTE	LOCAL
19/11/08 Bacia do rio Paraíba do Sul	Servatis SA.	Derramamento do produto químico Endosulfan	Resende – Rio Paraíba do Sul
03/08/09 Bacia do rio Paraíba do Sul	Não identificada	Grande mancha de óleo branco	Volta Redonda – Rio Paraíba do Sul, próximo à CSN
20/02/11 Bacia do rio Guandu	Secretaria Municipal de Saúde de Japeri	Incêndio em galpão de armazenamento de diversos produtos inseticidas e raticidas	Japeri - Rios Sarandi e Poços, afluentes do Guandu, 17,5 km a montante do ponto de captação da ETA Guandu

Fonte: Nogueira, 2011.

O acidente envolvendo a empresa Servatis, foi considerado o mais graves já ocorrido na região. No dia 19 de novembro de 2008, ocorreu o vazamento de oito mil litros do pesticida Endosulfan no rio Pirapetinga, afluente do rio Paraíba do Sul e teve sérias consequências em diversas cidades a jusante de Resende, como a morte de milhares de peixes e animais, além da suspensão da captação de água em diversos municípios. Foi feito o monitoramento emergencial e acompanhamento da mancha tóxica até o município de São João da Barra, distrito de Atafona. Segundo a SOPEA, o término da operação ocorreu 9 dias após o acidente.

4.2.2 Poluição proveniente de acidentes nos modais de transporte

4.2.2.1 Dutos

Dutos são tubulações especialmente desenvolvidas para transportar petróleo e seus derivados, álcool, gás e produtos químicos diversos por distâncias especialmente longas, sendo então denominados como oleodutos, gasodutos ou polidutos (capaz de transportar mais de um produto) (CBH GUANDU, 2015). Na área de estudo, a TRANSPETRO opera os seguintes oleodutos: ORBIG, ORBEL I, ORBEL II E OSRIO / OSVOL (TRANSPETRO, 2013, 2014, apud CBH GUANDU, 2015), conforme Figura 65 do ANEXO B.

Além de serem construídos com material específico resistentes a corrosão, há dispositivos de segurança, um deles são as válvulas de bloqueio, instaladas em vários intervalos das tubulações para impedir a passagem de produtos, em caso de anormalidades. Desta forma, um duto permite que grandes quantidades de produtos sejam deslocadas de maneira segura, deduzindo o tráfego de cargas perigosas por caminhões, trens ou por navios e, conseqüentemente, diminuindo os riscos de acidentes ambientais (CETESB, 2013).

Segundo o Plano de Contingência (2015) não há registros de acidentes ambientais na região de estudo envolvendo dutos.

4.2.2.2 Poluição proveniente de acidentes em ferrovias

Dentre as duas ferrovias identificadas por Viana (2009) e Viana *et al.* (2012), a MRS, com extensão de 1.643 km interliga os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, onde estão concentrados os maiores complexos industriais do país e 51% do PIB nacional (IBGE, 2020). No trecho fluminense, dentro da área de estudo a ferrovia cruza os municípios de Barra Mansa, Barra do Piraí, Itatiaia, Japeri, Mendes, Paracambi, Pinheiral, Porto Real, Queimados, Resende, Seropédica e Volta Redonda (Figura 24).

Esta ferrovia transporta diversas mercadorias, os principais produtos que circulam na área de estudo pela MRS são minério de ferro e produtos siderúrgicos (MRS, 2021).

Esta ferrovia cruza todos os corpos d'água inseridos na área de estudo, com exceção do rio Guandu. Por cruzar o rio Santana e Ribeirão das Lajes, estes pontos de cruzamento foram classificados como de gravidade alta por Viana (2009). Assim, segundo a autora a MRS merece atenção especial no que diz respeito à prevenção de acidentes no transporte de produtos perigosos, devido às inúmeras interferências desta ferrovia na área de estudo (Figura 24).

A ferrovia FCA movimenta diversos produtos, do grupo de siderúrgicos e de construção; agronegócio e fertilizantes; e industrializados. Os principais produtos perigosos movimentados na FCA são: o óleo diesel, a gasolina, o etanol e outros derivados de petróleo, a amônia e os granéis minerais de enxofre (FCA, 2021). Estes produtos perigosos representam um risco potencial de contaminação dos corpos d'água próximos da ferrovia. Segundo Viana (2009), a gravidade de acidentes com produtos perigosos na FCA pode ser classificada como média nos trechos onde a ferrovia cruza o rio Paraíba do Sul.

O Serviço de Operações em Emergências Ambientais (SOPEA) do INEA não identificou atendimento de acidentes ambientais nessas ferrovias até final de 2020.

4.2.2.3 Poluição proveniente de acidentes em rodovias

Segundo Viana (2009), foram identificadas 12 rodovias na região de estudo, cruzando pelo menos um dos corpos d'água. Dentre elas, a rodovia Presidente Dutra (BR-116), por ser uma importante rota de produtos perigosos do país, uma vez que liga os dois dos maiores polos industriais brasileiros (Rio de Janeiro e São Paulo), por ser a mais extensa da região de estudo e com maiores casos de acidentes foi tratada de forma diferenciada.

Segundo o INEA (2018b), foram registrados 202 acidentes na rodovia BR-116 (Presidente Dutra) no período de 1984 a 2003. No período de 2004 a 2013, mostraram características semelhantes aos do período anterior, tanto em relação aos trechos com maior ocorrência de acidentes, quanto aos produtos perigosos envolvidos nestes eventos. No período de 2014 a 2016, está rodovia teve um total de 33 emergências, conforme Quadro 6.

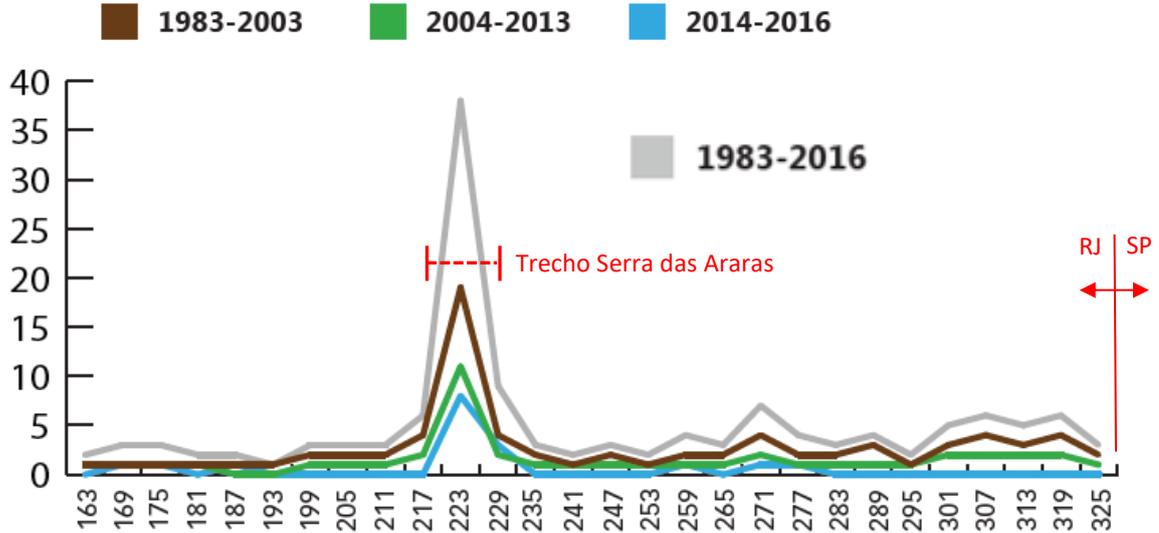
Quadro 6 - Acidentes na BR-116 no período entre 1984 a 2016 e tipos de produtos envolvidos

Acidentes e substância envolvida	1984 a 2003	2004 a 2013	2014 a 2016
Total acidentes	202	87	33
Perda de carga	84,65%	Semelhante ao período anterior	61,00%
Classe 2 - Gases	9,40%		6%
Classe 3 - Líquidos inflamáveis	26,23%		24%
Classe 4 - Sólidos inflamáveis	3,96%		-
Classe 5 - Substâncias oxidantes	0,99%		-
Classe 6 - Substâncias tóxicas	6,93%		-
Classe 8 - Substâncias corrosivas	32,17%		3%
Classe 9 - Substâncias perigosas diversas	-		3%
Não identificado ou não classificado como produto perigoso	20,29%		58%

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em dados do INEA, 2018b.

A comparação dos dados dos três períodos entre 1983 e 2016 indica que os pontos críticos de acidentes na Rodovia Presidente Dutra mantiveram-se os mesmos ao longo desses 34 anos, sendo a pista de descida da Serra das Araras (km 222 a 225) a região com maiores casos de acidentes (Figura 25).

Figura 25 - Número de acidentes a cada 6 km na BR-116 no trecho do RJ, por período analisado (1983-2003; 2004-2013; 2014-2016 e 1983-2016)



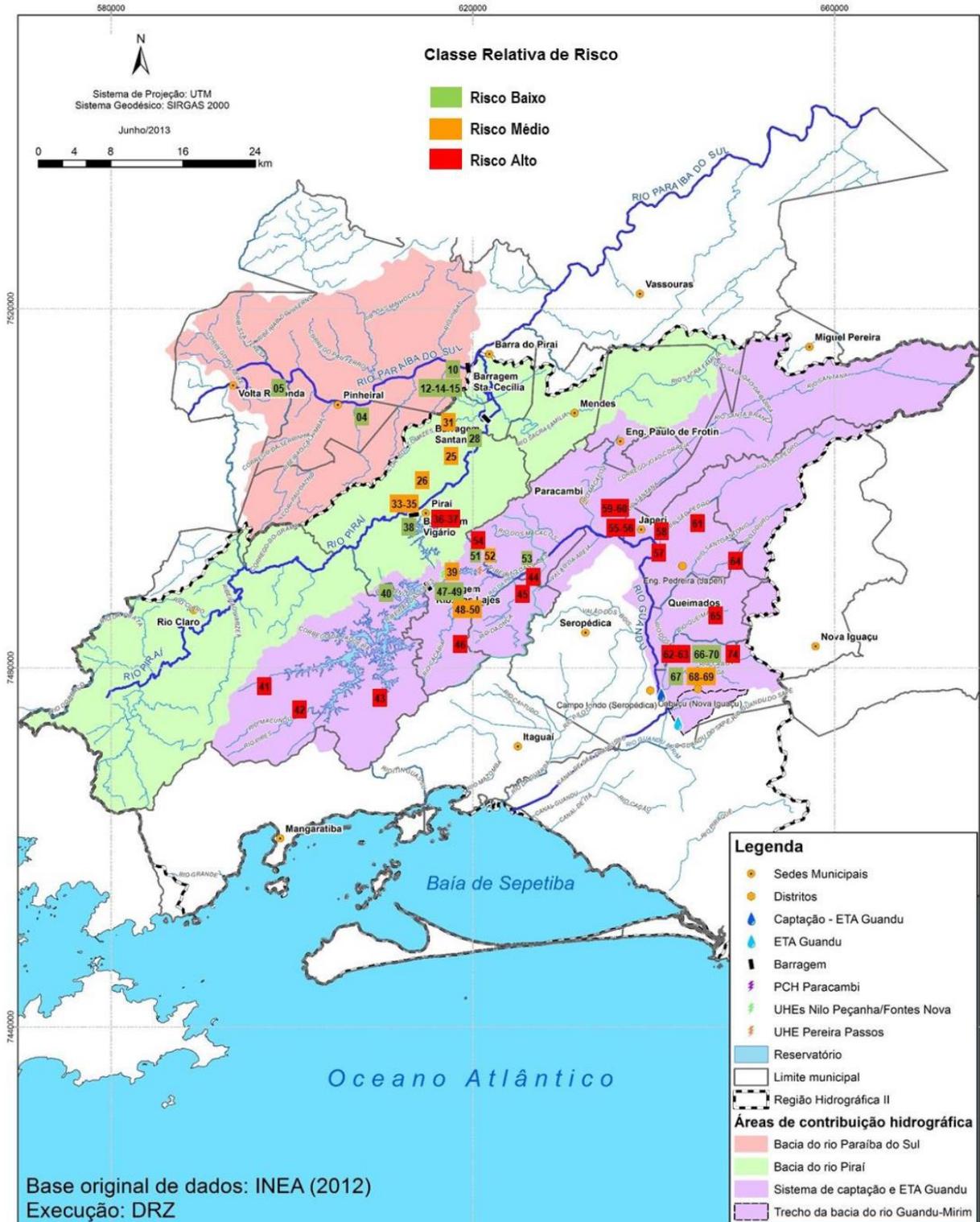
Fonte: INEA, 2018b.

O trecho da Serra das Araras sentido Rio de Janeiro, apresentou risco muito alto, por apresentar curvas bastante acentuadas e ter a maior concentração de acidentes envolvendo produtos perigosos, em segmentos que margeiam o Ribeirão das Lajes.

4.2.3 Síntese e risco associado ao estressor “acidentes ambientais” sobre os mananciais de abastecimento

O Plano de Contingência detalha esse problema na Bacia do rio Guandu e parte do Médio Paraíba do Sul (a partir de Volta Redonda), ao elaborar 74 cenários acidentais, com suas respectivas classificações de risco, que possam afetar a oferta de água na região e a ETA Guandu, dentre eles 21 cenários apresentam alto risco (Figura 26).

Figura 26 - Distribuição dos cenários e classificação de risco associada, nas áreas estudadas



Fonte: CBH GUANDU, 2015.

Os municípios com maior vulnerabilidade à contaminação acidental, conforme o Plano de contingência para abastecimento de água, são os seguintes: Volta Redonda (19,4%), devido

a maior concentração industrial, Pirai (14,0%), em consequência da maior exposição a acidentes rodoviários e Nova Iguaçu (11,8%), pela elevada carga difusa (Quadro 7).

Quadro 7 - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido a acidentes por fontes móveis e fixas, incluso cargas difusas (carga orgânica remanescente - esgoto sanitário e resíduos sólidos municipais)

Área	Município	Vulnerabilidade à Contaminação (adimensional)			
		Subtotal (adimensional)			Total (adimensional)
		Modais	Empreendimentos	Cargas Difusas	
Paraíba	Volta Redonda	15,5	22,0	20,7	19,4
	Pinheiral	1,4	2,2	2,1	1,9
	Barra do Pirai	10,4	14,0	8,9	11,1
Pirai	Pirai	31,2	8,4	2,5	14,0
	Rio Claro	10,0	0,7	1,2	4,0
Guandu	Engenheiro Paulo de Frontin	0,1	3,7	1,2	1,7
	Japeri	7,3	6,5	9,0	7,6
	Miguel Pereira	0,4	2,1	2,3	1,6
	Mendes	0,4	2,4	2,3	1,7
	Nova Iguaçu	7,2	3,5	24,9	11,8
	Paracambi	8,3	4,1	4,4	5,6
	Queimados	0,0	12,7	13,0	8,6
Seropédica	7,9	17,7	7,4	11,0	
Total (adimensional)		100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: CBH GUANDU, 2015.

As Bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu apresentam alto grau de exposição a acidentes ambientais. A região do Médio Paraíba do Sul, é a mais exposta, pois tem um importante parque industrial e já foi palco de um grave acidente ambiental, o vazamento do pesticida Endosulfan, em 2008, que impactou fortemente o rio Paraíba do Sul. Porém, quando o acidente ocorre na Bacia do rio Paraíba do Sul, a transposição serve como proteção para o abastecimento metropolitano do Rio de Janeiro, pois é interrompida para não contaminar o rio Guandu (FORMIGA-JOHNSSON e BRITTO, 2020).

Entre 2000 e 2010, a transposição foi paralisada por completo apenas 3 vezes: 2 vezes por motivos de poluição acidental de fontes fixas; e uma vez por poluição acidental de fontes móveis. Recentemente em fevereiro de 2020 a ETA Guandu foi paralisada por completo devido a presença de grande volume de surfactantes (detergentes) na água bruta (CEDAE, 2020b).

Foram registrados 175 acidentes ambientais envolvendo produtos perigosos na região de estudo, no período entre 2000 a 2013 e foram identificados 21 elementos de alto risco presente na região de estudo. Assim, avaliou-se a severidade do impacto como alta, porém com média ocorrência, sendo globalmente considerado de risco alto a poluição acidental dos rios Paraíba do Sul e Guandu (Figura 27).

Figura 27 - Síntese do estressor “acidentes ambientais”

Estressor	Indicadores	Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Acidentes Ambientais	Registro histórico de acidentes com produtos perigosos na região	● 175	● Alta	● Baixa
	Paralisação da ETA por contaminação	● 4	● Baixa	● Alta
	Elementos de alto risco presentes nas bacias	● 21	● Média	● Alta

Fonte: Autor, 2022.

4.2.4 Ações de prevenção para acidentes ambientais do Plano de contingência para abastecimento de água (Guandu)

No Plano de Contingência ao Abastecimento de Água na ETA Guandu, fez-se necessária a elaboração de um conjunto articulado de ações e de procedimentos visando, minimizar os riscos que os acidentes associados a fontes fixas e móveis de poluição representam para o abastecimento de água, bem como melhor enfrentar, da melhor maneira possível, as emergências daí decorrentes (CBH GUANDU, 2015).

As ações propostas foram organizadas segundo oito temas representativos dos riscos ao abastecimento de água por intermédio da ETA Guandu (designados como PAE - Planos de Ações de Emergência), as modalidades das ações prevista no Plano de Contingência são: Prevenção, Mitigação, Preparação, Resposta e Recuperação. São, ao todo, 96 ações. Para este trabalho foram citadas as ações de prevenção, conforme ANEXO C.

Mesmo após a elaboração do Plano de contingência pelo Comitê Guandu, Formiga-Johnsson e Britto (2020) não identificaram nenhuma política robusta ou ações de prevenção e redução de acidentes por fontes fixas e móveis que poderiam afetar a ETA Guandu.

4.3 Estressor “carga poluidora” sobre os mananciais de abastecimento

A ênfase deste estressor foi dada para a Bacia do rio Guandu, já que seus problemas de poluição são graves e têm influenciado diretamente a qualidade da água no ponto de captação da ETA Guandu. A Bacia do rio Paraíba do Sul não foi abordada em detalhes.

4.3.1 Coleta e tratamento de esgoto nos mananciais de abastecimento

Como os problemas de poluição na Bacia do rio Guandu são elevados e tem influenciado diretamente a qualidade da água tratada da ETA Guandu, a Bacia do rio Paraíba do Sul não foi abordada em detalhes; a ênfase neste estressor foi dada na Bacia do rio Guandu.

4.3.1.1 Bacia do rio Paraíba do Sul

Destacamos aqui somente a situação do esgotamento sanitário em toda a área drenante ao ponto da transposição, no Estado de São Paulo (porção paulista) e no Estado do Rio de Janeiro (Médio Paraíba do Sul).

Conforme indicado na Figura 17, a carga poluidora remanescente na Bacia do rio Paraíba do Sul é menor na região paulista de montante; contudo, apesar de 72,65% da população total da região de abrangência do CBH - Médio Paraíba do Sul ser atendida por rede coletora de esgoto, apenas 10,73% do esgoto é tratado (CEIVAP, 2020).

Tabela 8 - Atendimento total de coleta e tratamento de esgoto nas regiões da Bacia Paraíba do Sul a montante da transposição (porção paulista e Médio Paraíba do Sul)

Área abrangência (CBH)	Atendimento total de esgoto	Esgoto Tratado
Paraíba do Sul (Porção Paulista)	90,39%	52,82%
Médio Paraíba do Sul	72,65%	10,73%

Fonte: CEIVAP, 2020.

Ressalte-se que o capítulo seguinte avalia o impacto da carga poluidora nessa região, ao analisar a qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, imediatamente antes e depois da transposição (item 4.4, adiante).

4.3.1.2 Bacia do rio Guandu

A ausência ou precariedade dos serviços de coleta e tratamento de esgoto de municípios que integram o território da Bacia do rio Guandu constituem as principais fontes de poluição nesta região.

Os índices relacionados aos serviços de esgoto foram obtidos para os municípios que integram o território da Bacia do rio Guandu (Figura 28), nos quais os lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento degradam a qualidade de água dos corpos hídricos. Para o cálculo da média dos índices de esgotamento sanitário na bacia, foi utilizado a média ponderada, do índice por município e a população residente, a fim de ter mais coerência nos dados, pois justamente os municípios mais populosos apresentam piores resultados.

Figura 28 - Índices de atendimento, coleta e tratamento de esgoto para os municípios que integram a Bacia do Guandu

Município	Prestador de Serviço	População residente total (hab)	Índice de coleta de esgoto - IN015 (%)	Índice de tratamento de esgoto coletado - IN016 (%)
Barra do Piraí	PMBP	100.764	 67,04	 0,00
Eng. Paulo Frontin	PMEPF	13.626	 40,00 [2]	 0,00 [2]
Japeri	PMJ	97.337	 28,08 [1]	 0,00 [1]
Mendes	PMM	18.648	 17,04	 0,00
Miguel Pereira	PMMP	25.581	 39,19	 26,32
Nova Iguaçu	PMNI	823.302	 54,40	 37,94
Paracambi	PMP	52.683	 100,00	 0,00
Piraí	PMP	29.545	 26,15	 16,49
Queimados	SEMCONSESP	151.335	 35,56	 0,00
Rio Claro	PMRC	18.605	 30,59	 0,00
Seropédica	SSP	83.092	 30,37	 11,64
Vassouras	PMV	37.083	 35,61	 18,39
Soma/Média ponderada*		1.451.601	 49,58 *	 23,45 *

Nota: Dados obtidos do SNIS (2020).

Fonte: Autor, 2022.

[1] Valores referentes a AGEVAP e Vallenge, 2015.

[2] Valores referentes ao SNIS, 2015.

O índice de coleta de esgoto⁴, em geral, é ruim (49,58%): apenas o município de Paracambi apresenta valor bom (100%), Barra do Piraí, e Nova Iguaçu apresentam resultado regular, os demais municípios apresentam valores ruins (Figura 28).

O índice de tratamento de esgoto⁵ na região é ruim (23,45%). Os municípios de Barra do Piraí, Engenheiro Paulo Frontin, Japeri, Mendes, Paracambi, Queimados e Rio Claro não tratam seus efluentes. Os resultados globais apontam que, dos doze municípios da bacia, todos lançam nos corpos hídricos da bacia todo ou grande parte do esgoto gerado (sem tratamento), sendo necessário medidas urgentes para a ampliação dos serviços e o atingimento de índices aceitáveis (Figura 28).

O nível zero de tratamento de efluentes em muitos municípios são coerentes com a constatação de investimento nulo em esgotamento sanitário entre 2014 e 2017 (Figura 29), com

⁴ O índice de coleta de esgoto é a razão entre o volume de esgoto coletado com o volume de água consumido, menos o volume de água tratado exportado (SNIS, 2022).

⁵ O índice de tratamento de esgoto é a razão entre o volume de esgoto tratado com o volume de esgoto coletado mais o volume de esgoto importado (SNIS, 2022).

exceção dos municípios de Nova Iguaçu, Piraí e sobretudo Barra do Piraí que realizaram investimentos no período.

Figura 29 - Evolução temporal dos investimentos em esgotamento sanitário nos municípios da RH II - Guandu

Município	Investimentos em esgotamento sanitário (R\$)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Barra do Piraí	7.865,00	7.865,00	1.859,00	0,00	0,00
Eng. Paulo Frontin	ni	ni	0,00	0,00	0,00
Itaguaí	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Japeri	ni	ni	ni	0,00	0,00
Mangaratiba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mendes	0,00	0,00	ni	ni	ni
Miguel Pereira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nova Iguaçu	5.192.714,69	0,00	0,00	1.102.821,46	112.408,80
Paracambi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Piraí	0,00	6.372,11	9.422,00	0,00	0,00
Queimados	5.192.714,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Claro	ni	ni	ni	0,00	0,00
Rio de Janeiro	23.793.314,51	342.958.401,74	243.413.029,61	32.528.499,21	14.781.143,64
Seropédica	982.109,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vassouras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019.

Em consequência do baixo índice de tratamento de esgoto da Bacia do rio Guandu, a mesma gera 76.568 kg/dia de carga orgânica e lança⁶ 72.720 kg/dia, o que corresponde à remoção de apenas 5,0% (Tabela 9).

Tabela 9 - Cargas orgânicas geradas e lançadas na Bacia do rio Guandu

Município	Carga orgânica gerada (kg/dia)	Carga orgânica lançada (kg/dia)	Carga orgânica lançada em relação a Bacia do rio Guandu	Redução
Barra do Piraí	5.231	4.972	6,8%	5,0%
Eng. Paulo Frontin	736	658	0,9%	10,6%
Japeri	5.393	5.098	7,0%	5,5%
Mendes	977	892	1,2%	8,7%
Miguel Pereira	1.341	826	1,1%	38,4%
Nova Iguaçu	43.605	42.399	58,3%	2,8%
Paracambi	2.674	2.606	3,6%	2,5%
Piraí	1.503	1.220	1,7%	18,8%

⁶ A carga orgânica lançada é o somatório da "carga orgânica remanescente após sistema individual" que considerou o percentual de pessoas do município atendida por sistemas individuais (ex: fossas sépticas), com a "carga de DBO remanescente após coleta e tratamento de sistema coletivo de esgotamento sanitário", que considerou o restante da população, não provida de sistema individual, mais a "carga de DBO bruta não coletada lançada diretamente na rede de drenagem pluvial ou em corpos d'água interiores", que considerou o restante da população que não se enquadraram nas estimativas anteriores (CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019).

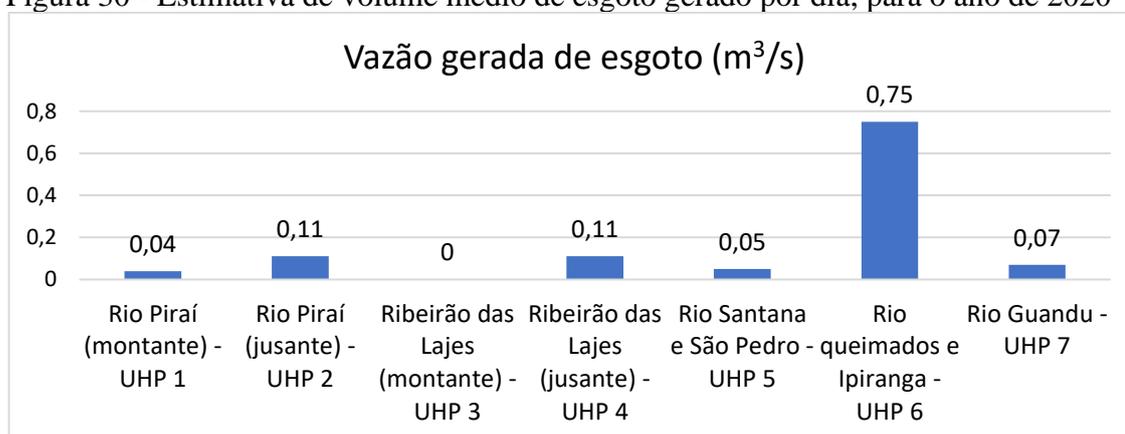
Município	Carga orgânica gerada (kg/dia)	Carga orgânica lançada (kg/dia)	Carga orgânica lançada em relação a Bacia do rio Guandu	Redução
Queimados	7.756	7.294	10,0%	6,0%
Rio Claro	963	900	1,2%	6,5%
Seropédica	4.476	4.224	5,8%	5,6%
Vassouras	1.913	1.631	2,2%	14,7%
Total	76.568	72.720	100%	5,0%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019.

Nota-se que os maiores lançadores de carga orgânica são o município do Nova Iguaçu (58,3%), por ser mais populoso, seguido de Queimados (10,0%) e Japeri (7,0%) (Tabela 9), esses três municípios fazem parte da UHP 6, além de possuírem os afluentes mais poluídos do rio Guandu (Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga), causando-os a degradação da lagoa do Guandu, onde desembocam.

Segundo Santos (2020), na Bacia do rio Guandu a UHP 6 possui a maior vazão de esgoto gerado por dia, com estimativa de 0,75 m³/s, equivalente a 64.800 m³/dia (Figura 30), além de possuir 75% da carga orgânica lançada na bacia, proveniente dos municípios de Nova Iguaçu, Queimados e Japeri (Tabela 9).

Figura 30 - Estimativa de volume médio de esgoto gerado por dia, para o ano de 2020



Fonte: Santos, 2020.

Na Bacia do rio Guandu há um total de 71 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) (80% estão na UHP 6), destas somente 27 estavam em plena operação, as demais estavam com problemas de funcionamento ou com operação paralisada, conforme Tabela 10 (COELHO, 2020). Em Nova Iguaçu, onde está localizada a ETA Guandu, somente 13 das 38 ETE existentes estavam em operação. A consequência é o despejo de mais de 10 milhões de litros de esgoto por dia no rio Guandu e em seus afluentes (COELHO, 2020).

Tabela 10 - Estações de Tratamento de Esgoto da Bacia do rio Guandu, para o ano de 2020

Municípios	Estações		
	Em operação	Com restrições	Paradas
Japeri	3	0	3
Nova Iguaçu	13	17	8
Mendes	0	0	0
Eng. Paulo Frontin	0	0	0
Paracambi	0	1	4
Piraí	2	0	0
Seropédica	0	0	3
Queimados	9	0	8
Rio Claro	0	0	0

Fonte: Adaptado de Coelho, 2020.

Na Lagoa do Guandu, local de captação de água da ETA Guandu pela CEDAE, o ambiente é propício à proliferação de algas devido à elevada carga de nutrientes dos esgotos e a baixa taxa de renovação hídrica (CEDAE, 2010; KLIGERMAN *et al.*, 2021). A poluição da Lagoa do Guandu é reflexo dos baixíssimos índices de coleta e tratamento de esgotos nos municípios que circundam os afluentes ao Guandu.

Segundo Smiderle *et al.* (2020), a razão dessa realidade permeia a falta de incentivos dados à CEDAE para realização de investimentos necessários. A Companhia historicamente investiu menos por usuário conectado à rede do que as companhias de Benchmark do Brasil, tendo o montante investido se mostrado pouco efetivo em termos de expansão dos serviços de coleta e tratamento de esgotos (SMIDERLE *et al.*, 2020).

Por outro lado, a falta de investimento em saneamento e a ocupação desordenada da Bacia do rio Guandu aumentaram a incidência de doenças como verminoses, hepatite A, diarreias e leptospirose, principalmente entre a população de baixa renda, que sofre pela contaminação da água potável, tanto na rede de abastecimento como em poços, em virtude da contaminação do lençol freático (KLIGERMAN, 2021). No Brasil, as doenças de transmissão fecal-oral (diarreias, febres entéricas e hepatite A) foram responsáveis por 87% das internações causadas pelo saneamento inadequado no período de 2000 a 2013 (TRATA BRASIL, 2020).

Quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos, vale destacar o sistema de coleta e as formas de disposição final dos resíduos sólidos gerados por cada município. Essa avaliação se baseou em índices disponíveis no SNIS em 2019, tais como, as taxas de cobertura do serviço de coleta de resíduos domésticos em relação à população total (IN015) e CBH GUANDU; PROFILL e TSA (2019). No Figura 31 são apresentadas informações gerais sobre o serviço de

coleta (prestadores desse serviço, cobertura e coleta seletiva) e disposição final dos resíduos sólidos.

Figura 31 - Informações sobre coleta e disposição final de resíduos sólidos nos municípios da Bacia do rio Guandu, para ano de 2020

Município	Prestador de Serviço	População residente total (hab)	Taxa de resíduos sólidos coletados - IN015 (%)	Taxa de cobertura da coleta seletiva (urbana) – IN030 (%)	Disposição final [1]
Barra do Pirai	Secretária Municipal de Serviços Públicos	100.764	 98,83	5,11 [1]	CTR - Nova Iguaçu e Aterro Consorciado Vale do Café - CONVALE
Eng. Paulo Frontin	Secretária Municipal de Obras e Serviços Públicos	14.071	 74,99 [1]	ni	CTR Centro Sul I - Paracambi
Japeri	Secretária Municipal do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável	105.548	 90,00	5,04	CTR Paracambi e CTR - Nova Iguaçu
Mendes	Prefeitura Municipal de Mendes	18.648	 98,69	Não há	CTR - Paracambi
Miguel Pereira	Prefeitura Municipal de Miguel Pereira	25.581	 100,00 [1]	46,13 [1]	CTR Rio – Seropédica
Nova Iguaçu	Empresa Municipal de Limpeza Urbana	823.302	 98,23	11,39 [1]	CTR - Nova Iguaçu
Paracambi	Companhia Municipal de Desenvolvimento de Paracambi	52.683	 99,24	Não há	CTR - Paracambi
Pirai	Prefeitura Municipal de Pirai	29.545	 100,00	51,76	Aterro Sanitário de Barra Mansa
Queimados	Secretária Municipal de Conservação e Serviços Públicos	151.335	 100,00	Não há	CTR - Paracambi
Rio Claro	Prefeitura Municipal de Meio Ambiente e Agricultura	18.605	 89,25	Não há	CTR de Barra Mansa
Seropédica	Secretária Municipal de Ambiente e Agronegócio	83.092	 100,00	ni	CTR Rio – Seropédica
Vassouras	Prefeitura Municipal de Vassouras	37.083	 100,00	8,17	CONVALE CTDR Vassouras
Média ponderada			97,78		

Nota: Dados obtidos SNIS, 2020.

[1] CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019.

Fonte: Autor, 2022, adaptado CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019.

Conforme apontado na tabela acima, a maioria dos municípios da bacia apresenta taxas satisfatórias de coleta de resíduos, com valores superiores a 90%, com exceção aos municípios de Engenheiro Paulo de Frontin e Rio Claro. Apesar da boa cobertura de coleta na maioria dos municípios da Bacia do rio Guandu, o sistema de coleta seletiva ainda não é empregado por muitos municípios. Dos municípios que possuem esse sistema implantado, a cobertura ainda é relativamente baixa, menor que 12%, exceto nos municípios de Miguel Pereira (46,13%) e Pirai (51,76%) (Figura 31).

Os resíduos coletados por esses municípios são dispostos em centrais de tratamento de resíduos sólidos e aterros sanitários localizados no estado do Rio de Janeiro, o que demonstra um ponto positivo na gestão de resíduos sólidos, uma vez que esses locais apresentam estruturas para evitar contaminação ambiental do solo e dos recursos hídricos, além de mitigar outros impactos sociais e ambientais (CBH GUANDU; PROFILL e TSA, 2019).

Em relação ao polo industrial de Queimados, não foram achados estudos acadêmicos recentes sobre a poluição do mesmo para as águas do rio Guandu. Segundo Serber (2005), a poluição industrial é uma das causas da degradação da qualidade da água do rio Queimados, associada à operação do Polo Industrial de Queimados, pelo descumprimento da legislação ambiental e pela fiscalização precária do órgão ambiental.

Durante a pesquisa foi encontrado informações recentes sobre interdições realizadas pelo INEA em empresas do Distrito industrial de Queimados por terem cometido infrações ambientais, tais como por despejo irregular na Bacia do rio Guandu (EU, RIO, 2021) e em 2022 6 empresas de 13 vistoriadas apresentavam infrações ambientais (INEA, 2022).

Entretanto, segundo o estudo de Serber (2005) é difícil mensurar a poluição que o polo industrial provoca no rio Queimados, pois a contaminação existente no rio Queimados é devido às atividades antrópicas desenvolvidas na região, incluindo as atividades industriais, domésticas e ao aumento da ocupação desordenada do solo.

O uso de agrotóxicos ou pesticidas agrícolas, segundo dados do IBGE (2017), não constitui uma grande ameaça para a qualidade da água bruta na ETA Guandu, visto que, menos de 5% dos estabelecimentos agrícolas da Bacia do rio Guandu declaram fazer uso destas substâncias.

4.3.2 Risco associado à carga poluidora

Identificou-se o comprometimento da qualidade das águas, principalmente pela deficiência de coleta e tratamento de esgoto, refletido nos elevados níveis de Fosforo Total e Coliformes Termotolerantes, que será visto a seguir, tanto nas águas do rio Paraíba do Sul quanto nas águas do rio Guandu, na maioria dos pontos monitorados nas bacias, inclusive com concentrações muito elevadas nos afluentes próximos ao ponto de captação, em porcentagem significativa das amostras. Logo, avaliou-se a ocorrência do estressor como alta.

Será visto no item a seguir que há violações dos limites de enquadramento para os parâmetros de DBO, Fósforo Total, OD, Turbidez e Coliformes Termotolerantes na água bruta no ponto de captação da ETA Guandu. Há registros recentes de eventos de paralisação da ETA em função da elevada concentração de cianobactérias na Lagoa do Guandu, além de mudança na cor, odor e sabor da água tratada, relatada pela população da porção oeste da RMRJ. Esses eventos estão relacionados à carga poluidora que os afluentes do rio Guandu recebem e suscitam questionamentos acerca da capacidade da ETA tratar águas tão poluídas.

Por tudo isso, considerou-se que o risco global é muito alto, devido à alta ocorrência de carga poluidora com impactos correspondentes de alta severidade (Figura 32).

Figura 32 – Síntese do estressor “Carga poluidora”

Estressor	Indicadores		Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Carga poluidora (Bacia do rio Guandu)	Índice de coleta de esgoto		● 49,58%	● Alta	● Alta
	Índice de tratamento de esgoto		● 23,45%	● Alta	● Alta
	Taxa de resíduos sólido coletado		● 97,78%	● Baixa	● Baixa
	Carga orgânica doméstica lançada/ gerada	72.720/ 76.568	● 94,97%	● Alta	● Alta

Fonte: Autor, 2022.

4.3.3 Ações de gestão para aumentar a segurança hídrica

Esta parte limita-se à Bacia do rio Guandu, por ser a principal fonte de poluição no ponto de captação de água da ETA Guandu.

A poluição da Lagoa do Guandu vem sendo objeto de estudos e propostas de infraestrutura de mitigação há décadas, tais como: implantação de sistema de esgotamento sanitário nas Bacias dos rios Poços, Queimados e Ipiranga; mudança do ponto de captação de água da ETA Guandu; criação de ETEs nos afluentes poluídos do rio Guandu; e desvio desses rios poluídos. Contudo, até hoje ainda não há uma solução que tenha sido realmente

implementada, o que evidencia a complexidade do problema e as polêmicas em torno de sua solução.

Segundo Coelho et al. (2012) e Ottoni e Ottoni (2022), o cenário mais adequado para minimizar a poluição na Lagoa do Guandu é a implantação do sistema de esgotamento sanitário com tratamento secundário nos afluentes da Lagoa Guandu, a fim de tratar os rios Poços, Ipiranga e Queimados antes da sua foz, com a meta de remoção de 90% da carga orgânica (DBO), conforme a concepção do plano diretor de esgotamento sanitário elaborado por STE (1994, apud, COELHO et al., 2012, p. 4).

Para a proteção da tomada d'água no rio Guandu, está em discussão desde 2010, a realização de obras emergenciais que possibilitam o desvio das águas oriundas dos rios Poços, Queimados e Ipiranga. Esta obra, consiste na implantação de um dique, associado a estruturas hidráulicas de desvio da água proveniente da Lagoa do Guandu, estimada em mais de 33 milhões de reais (Figura 33) (CEDAE, 2010). A licença de operação foi concedida em 2011 pelo INEA, porém até o momento esse projeto ainda segue em discussão.

Figura 33 - Esquema ilustrativo de projeto de proteção da captação da ETA-Guandu



Fonte: CBH GUANDU, 2015.

Segundo Formiga-Johnsson e Britto (2020) o projeto de desvio dos rios Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga com deságue a jusante do ponto de captação da ETA

Guandu vem sendo discutido há quase 30 anos e era a solução apontada por fontes oficiais (CEDAE, 2014, apud PERHI, 2014; PDUI, 2018; PNSH, 2019). Entretanto, a obra de implantação do dique, associado a estruturas hidráulicas de desvio da água proveniente da Lagoa do Guandu, estimada em mais de 33 milhões de reais, apresenta empecilhos ambientais e não se demonstra como solução definitiva para os problemas encontrados no diagnóstico do estado (ANA, 2021).

Entre janeiro a setembro de 2019, foram destinados ao saneamento na Bacia do rio Guandu cerca de 18 milhões de reais provenientes da cobrança pelo recurso hídrico. No entanto, o BNDES estima que seria necessário o investimento total de 33,5 bilhões de reais em saneamento para se obter 90% de cobertura, previsto pelo Novo Marco Legal do Saneamento. A partir deste montante, o CBH do Rio Guandu projetou um investimento de saneamento básico anual na região da Bacia do rio Guandu de 1,4 bilhão de reais até 2042, porém, só em Nova Iguaçu e em Queimados, seria necessário investir anualmente 776 milhões de reais (KLIGERMAN, et al. 2021).

Segundo Santos (2020) é necessário o investimento de 930 milhões de reais para implantação do sistema de esgotamento sanitário na UHP 6. As iniciativas necessárias para a realização destas obras já estão em andamento, com financiamento dos projetos básicos executados pelo Comitê Guandu. Entretanto, seus resultados serão ressentidos a médio e longo prazos (CBH GUANDU e PROFILL, 2018).

Recentemente, a Secretaria de Estado de Ambiente e Sustentabilidade (Seas), CEDAE e o INEA anunciaram uma série de obras e investimentos com o intuito de mitigar os problemas de poluição da Lagoa do Guandu (Projeto Verão Guandu, anunciado em 25/11/2021) (INEA, 2021). Entre as ações anunciadas, destacam-se:

- O aumento do volume de bombeamento do rio Guandu para as lagoas próximas à estação de tratamento para renovar a água no ponto de captação e reduzir os fatores que contribuem para a concentração de algas produtoras da geosmina (fenômeno causado pela presença de nutrientes, calor e água parada, com maior incidência no verão);
- A dragagem dos afluentes poluídos do rio Guandu, há estimativa da retirada de cerca de 113 mil m³ de sedimentos do rio Queimados e, aproximadamente, 73 mil m³ do rio Ipiranga, contemplar desde a foz até a confluência com os rios Poços e Cabuçu, respectivamente; e
- A implantação de Unidades de Tratamento de Rios (UTRs) na Baixada Fluminense para diminuir a poluição dos rios Poços, Queimados e Ipiranga, uma parceria Seas, CEDAE

e Comitê Guandu-RJ, em um investimento de R\$ 108 milhões. Trata-se de um sistema similar ao já implantado no Rio Carioca, no Flamengo, cuja estrutura trata a água de um rio antes do seu deságue em uma baía, lagoa ou o oceano. Uma UTR é composta por caixa de areia; ecobarreira (cerca para reter o lixo flutuante); pátio de armazenamento de produtos químicos; módulos de equipamentos; bacias de floculação e flotação com respectivos sistemas de aeração e recirculação; retenção e remoção de lodo flotado; laboratório; e captação de bombeamento de água.

Mais recentemente o Governo do Estado do Rio de Janeiro, através da Seas e do INEA, e o Comitê Guandu-RJ lançaram o Programa Sanear Guandu (anunciado 15/12/22). Que tem como objetivo realizar um conjunto de obras de esgotamento sanitário, que vai impedir o despejo de cerca de 10 milhões de litros de esgoto por dia em rios que drenam o Guandu e nele próprio, algumas obras já iniciaram no primeiro bimestre de 2022, com um investimento de aproximadamente R\$ 56 milhões (ISABELA, 2022; UCHÔA, 2022; CBH GUANDU, 2022b).

As obras do programa Sanear Guandu já realizaram a instalação de mais de 140 filtros biodigestores no bairro Fazendinha, melhorando o tratamento de esgoto doméstico da região de Queimados (Notícia do dia 12 set. 2022, no sítio ZM Notícias, acessado em nov. 2022: <http://www.zmnoticias.com.br/queimados-avanca-com-obras-do-sanear-guandu/>).

4.4 Análise do comprometimento da qualidade da água

Neste item será analisado como os estressores “carga poluidora” e “condições ambientais”, tratados nos itens anteriores, impactam a qualidade da água do rio Guandu, conseqüentemente impactando na qualidade da água captada pela ETA Guandu. Para tanto, foram analisados: (i) o Índice de Qualidade de Água (IQA) e seus parâmetros; (ii) a conformidade dos parâmetros do IQA em relação ao enquadramento dos corpos hídricos; (iii) os episódios de poluição aguda no verão dos anos de 2020 e 2021; e (iv) os poluentes emergentes encontrados no rio Guandu.

4.4.1 Panorama global de qualidade da água dos mananciais: IQA

A qualidade da água bruta na região de estudo é monitorada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no estado de São Paulo, e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), no estado do Rio de Janeiro. Na parte paulista do rio Paraíba do Sul foram utilizados os dados mais atuais disponibilizados pela CETESB, do período de 2012 a 2019. Na

parte fluminense da área de estudo foram analisados os dados mais atuais do INEA de 2012 a 2021 da RH III - Médio Paraíba do Sul e da RH II - Guandu. No Apêndice B, são apresentados os pontos de monitoramento, com seus respectivos rios, coordenadas geográficas e localização da região estudadas.

O Índice de Qualidade de Água (IQA), criado em 1970, pela *National Sanitation Foundation* (NSF), a partir de 1975 começou a ser utilizado pela CETESB. Nas décadas seguintes, outros estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água utilizado no país (INEA, 2022b). Na qual é gerado a partir do produtório ponderado do valor de qualidade de 9 parâmetros, elencados na Figura 34, elevadas ao seu respectivo peso, sendo o valor final classificado em 5 faixas (Figura 35). Porém, nesse estudo, na análise dos dados brutos não foram considerados os dados de pH, devido as variações terem sido irrelevantes e estarem dentro do limite aceitável.

Figura 34 - Parâmetros de Qualidade da Água (IQANSF)

Parâmetro de Qualidade da Água	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5, 20})	0,10
Temperatura da Água	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo Total	0,08

Fonte: INEA, 2022b.

Figura 35 - Valores do IQA classificados em faixas, entre os estados brasileiros

AL, MG, MT, PR, RJ, RN e RS	BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE e SP	Avaliação de Qualidade da Água
91 - 100	80 - 100	Ótima
71 - 90	52 - 79	Boa
51 - 70	37 - 51	Razoável
26 - 50	20 - 36	Ruim
0 - 25	0 - 19	Péssima

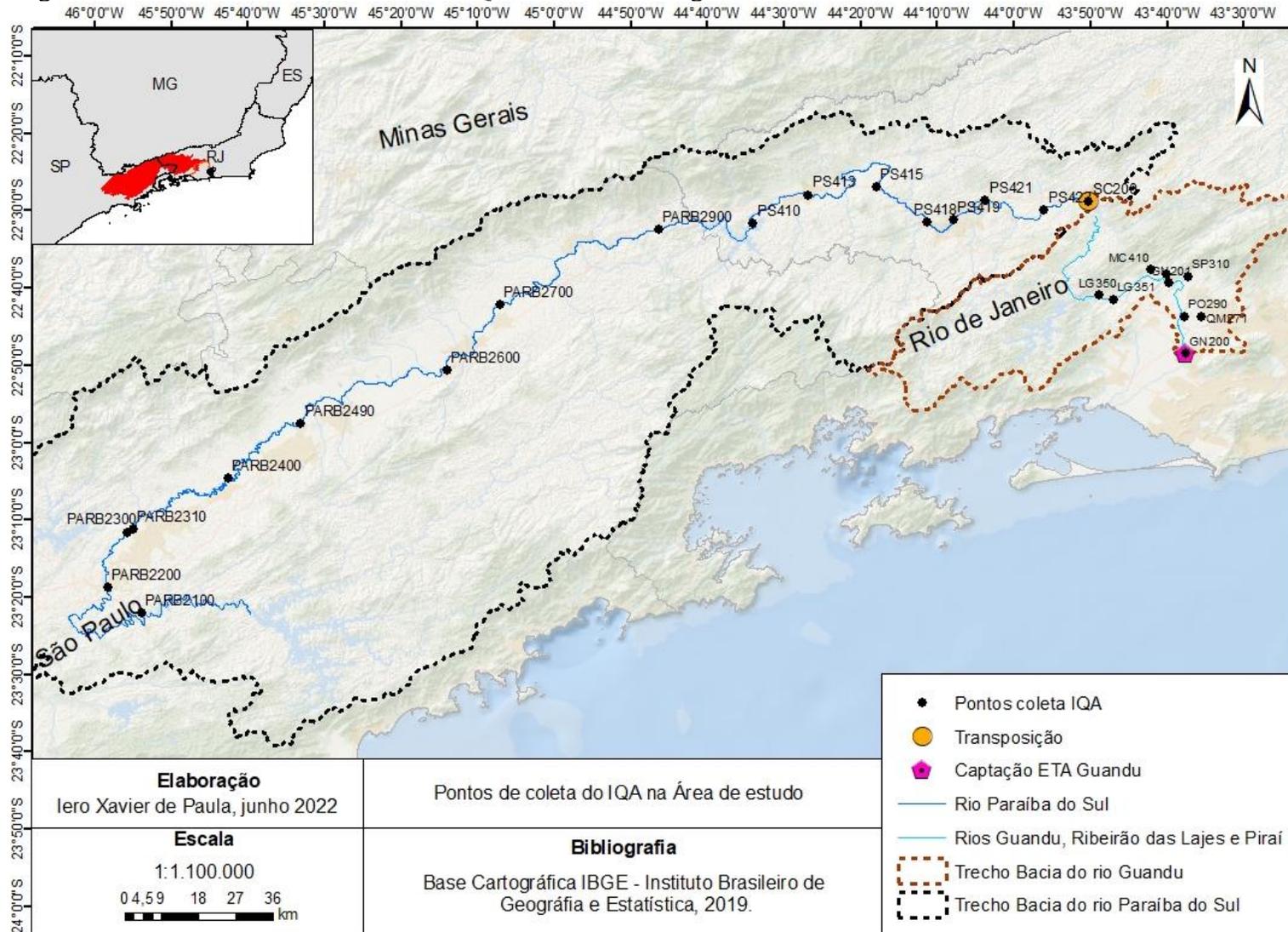
Fonte: INEA, 2022b.

Como as faixas variam entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, para padronizar as faixas e facilitar a interpretação foi considerado a faixa de IQA utilizada no Rio de Janeiro, para ambos estados, devido a localização da ETA Guandu e por ser a faixa mais rigorosa.

O presente estudo consistiu na avaliação da evolução dos parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrato (NO_3), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (T), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), e Coliformes Termotolerantes, na Bacia do rio Guandu, a partir de informações oriundas dos pontos de monitoramento e considerando os limites estabelecidos na Resolução CONAMA n° 357/2005.

Para melhor entendimento da qualidade da água que chega na ETA Guandu, foram utilizados os dados de IQA consolidado do rio Paraíba do Sul desde a primeira estação de monitoramento (PARB2050), no município de Santa Branca, até o ponto de transposição no Reservatório de Santa Cecília, em Piraf (SC200) (Figura 36). Deste ponto em diante foi utilizado os dados do Ribeirão das Lajes e rio Guandu.

Figura 36 - Pontos de monitoramento do IQA, utilizados na região de estudo



Fonte: Autor, 2022, elaborado com dados do INEA, 2022.

O IQA médio do rio Paraíba do Sul no início do curso, nas estações PAR2050 e PARB2100 no município de Sta. Branca, apresentaram os melhores resultados (72,4 e 72,6, respectivamente) (Figura 37). O que provavelmente está associado a localização do ponto na parte mais alta da bacia, com maior percentual de cobertura florestal e sob menor influência de esgoto doméstico e industrial a jusante.

Figura 37 - IQA de 2012 a 2019 no rio Paraíba do Sul, IQA de 2012 a 2021 no rio Ribeirão das Lajes e rio Guandu e média dos respectivos períodos.

Rio	Bacia	Estação	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Média	
Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	PARB2050 - Santa Branca	59,0	77,0	79,0	75,0	75,0	71,0	73,0	70,0			72,4	
		PARB2100 - Santa Branca	58,0	72,0	79,0	77,0	77,0	72,0	74,0	72,0			72,6	
		PARB2200 - Jacareí	69,0	68,0	71,0	67,0	70,0	62,0	65,0	67,0			67,4	
		PARB2300 - S. J. dos Campos	56,0	61,0	67,0	60,0	61,0	57,0	60,0	61,0			60,4	
		PARB2310 - S. J. dos Campos	51,0	67,0	65,0	59,0	63,0	61,0	62,0	60,0			61,0	
		PARB2400 - Caçapava	53,0	50,0	63,0	58,0	54,0	58,0	58,0	54,0			56,0	
		PARB2490 - Tremembé	53,0	54,0	62,0	58,0	66,0	59,0	58,0	57,0			58,4	
		PARB2530 - Pidamonhagaba	56,0	54,0	61,0	61,0	62,0	57,0	62,0	58,0			58,9	
		PARB2600 - Aparecida	47,0	49,0	56,0	51,0	47,0	51,0	50,0	49,0			50,0	
		PARB2700 - Lorena	55,0	56,0	62,0	55,0	52,0	56,0	53,0	54,0			55,4	
		PARB2800 - Cruzeiro	63,0	56,0	64,0	52,0	60,0			59,0			59,0	
		PARB2900 - Queluz	46,0	65,0	67,0	66,0	59,0	64,0	62,0	61,0			61,3	
		Médio Paraíba do Sul	PS413 - Resende	58,8	54,1	54,2	50,0	54,9	52,9	53,9	57,2			54,5
			PS415 - Porto Real	62,6	60,7	62,2	60,7	62,2	61,0	62,3	63,3			61,9
			PS418 - Barra Mansa	57,4	57,7	59,4	55,1	59,0	55,9	56,5	59,7			57,6
			PS419 - Volta Redonda	59,0	59,9	58,3	52,7	56,1	57,3	55,4	58,3			57,1
			PS421 - Volta Redonda	54,0	56,2	57,2	51,4	58,6	55,4	53,0	56,1			55,2
			PS423 - Barra do Pirai	60,7	58,1	61,0	53,7	61,2	58,7	58,1	58,3			58,7
			SC200 - Res. Santa Cecília	61,7	59,2	63,3	61,4	64,6	61,5	58,7	59,1	46,9	60,6	59,7
Ribeirão das Lajes	Guandu	LG350 - Pirai	74,5	70,8	74,3	73,6	74,5	73,1	69,8	72,0	70,0	75,1	72,8	
Ribeirão das Lajes		LG351 - Paracambi	65,6	68,1	76,7	72,8	73,9	74,1	68,9	69,4	67,0	73,7	71,0	
Guandu	Guandu	GN201 - Seropédica	62,6	64,9	68,7	66,9	68,9	67,9	63,7	70,6	68,8	71,4	67,4	
Guandu		GN200 - Nova Iguaçu	63,0	61,5	64,7	62,7	64,6	63,8	61,9	63,5	63,5	67,0	63,6	

Categoria de resultados	Excelente	Boa	Média	Ruim	Muito Ruim
IQA (NSF)	100 ≥ IQA ≥ 90	90 > IQA ≥ 70	70 > IQA ≥ 50	50 > IQA ≥ 25	25 > IQA ≥ 0

Fonte: Autor, baseado em dados do INEA (2022c) e CETESB, 2019.

A qualidade da água tem uma piora substancial até chegar em Aparecida (PARB2600), que apresenta o pior valor médio (50,0) dentre as demais estações. Devido principalmente ao alto teor de Coliformes Termotolerantes, porém esses teores não são refletidos na estação posterior, nem na estação anterior, que por sua vez foram respectivamente 4,0 e 7,3 vezes menores que os valores da PARB2600, comparando a média entre os anos de 2012 e 2019, conforme Figura 38.

Figura 38 - Dados brutos do IQA médio entre 2012 e 2019 do rio Paraíba do Sul no trecho Paulista

Estação	IQA	DBO (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)	Turbidez (UNT)	Escherichia coli (UFC/100mL)
Limite para rio de classe 2		5,0	0,10	10,00	5,0	100	1.000
PARB02050 - Jambeiro	74,6	3,0	0,03	0,28	6,0	13	150
PARB02100 - Sta. Branca	75,8	3,0	0,03	0,28	6,2	14	124
PARB02200 - Sta. Branca	67,0	3,0	0,06	0,31	6,0	20	995
PARB02300 - Jacareí	61,0	3,1	0,10	0,48	5,1	25	2.800
PARB02310 - S.J. dos Campos	62,0	3,3	0,09	0,57	4,9	24	1.200
PARB02400 - Caçapava	58,2	3,3	0,11	0,80	3,2	21	927
PARB02490 - Tremembé	60,6	3,2	0,12	0,98	4,8	24	1.088
PARB02530 - Pidamomhangaba	60,6	3,3	0,12	0,98	5,1	24	1.667
PARB02600 - Aparecida	51,0	3,7	0,14	1,03	4,5	33	12.167
PARB02700 - Lorena	55,6	3,5	0,12	1,12	4,2	29	3.033
PARB02800 - Cruzeiro	58,7	3,5*	0,13*	1,20*	4,9*	30*	1100*
PARB02900 - Queluz	63,6	3,0	0,10	1,12	5,4	25	888

Nota: *Dados de 2019

Fonte: Autor, baseado em dados do CETESB, 2019.

A água que entra no sistema de transposição do rio Paraíba do Sul tem qualidade média regular (59,7), considerando a estação SC200 como referência, pois se encontra na represa de Santa Cecília, no ponto de transposição. Na bacia do rio Guandu nas estações LG350 e LG351, no rio Ribeirão das Lajes, o IQA médio melhora significativamente (72,8 e 71,0 respectivamente). Esta melhora é observada em praticamente todos os parâmetros do IQA, mas principalmente devido a diminuição significativa de Coliformes Termotolerantes, saindo de 9.7×10^3 UFC/100mL na média entre 2012 e 2021 na estação SC200, para 1.3×10^3 UFC/100mL, na estação de LG350, conforme Figura 39.

Seguindo o curso do rio Guandu, após o encontro com os afluentes rio Macaco (MC410) e Santana (SN331), mesmo ambos possuindo vazão média baixa ($1,34\text{m}^3/\text{s}$ e $6,09\text{m}^3/\text{s}$, respectivamente), comparando com o rio Guandu ($171,43\text{m}^3/\text{s}$ na GN2021) os mesmos possuem uma carga poluidora elevada (Figura 39). O rio Macaco por exemplo, possui a maioria dos parâmetros do IQA muito fora do limite superior para rio de classe 3. Desta forma, é perceptível uma piora na qualidade da água na estação GN201 (IQA médio 67,4), com a piora de praticamente todos os parâmetros, mas principalmente ao aumento na concentração de Coliformes Termotolerantes (Figura 39).

Figura 39 - Dados Brutos do IQA médio entre 2012 e 2021 no ponto de transposição do rio Paraíba do Sul e na Bacia do rio Guandu, a montante da ETA Guandu e as respectivas distâncias das estações à captação da ETA Guandu e vazão média dos rios em cada estação.

Estação/ Rio/ Referência	Distância até a ETA (km)**	Vazão média (m ³ /s)*	IQA	DBO (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Turbidez (UNT)	Escherichia coli (UFC/100mL)	SDT (mg/L)	Temp. água (°C)
SC200 - Paraíba do Sul - Reservatório de Santa Cecília (transposição)	83,8	119*	59,7	2,1	0,10	0,89	6,4	7,2	37,0	9.704	81,5	23,0
LG350 - Ribeirão das Lajes - Piraí	43,8	164,00	72,8	2,0	0,08	0,63	7,4	7,3	14,5	1.340	73,5	23,1
LG351 - Ribeirão das Lajes - Paracambi	39,1	164,00	71,0	2,1	0,09	0,64	7,4	7,3	17,5	11.215	71,5	23,1
MC410 - Macacos - Paracambi ¹	30,5	1,34	37,0	12,3	0,51	1,76	3,5	7,2	83,5	639.763	152,7	22,1
SN331 - Santana - Paracambi ¹	26,1	6,09	59,5	2,1	0,14	0,19	8,5	7,5	76,5	25.362	92,6	22,8
GN201 - Guandu - Seropédica	23,4	171,43	67,4	2,0	0,09	0,68	8,3	7,2	14,8	20.054	76,5	23,3
SP310 - São Pedro - Paracambi ¹	21,5	1,88	68,1	2,1	0,06	0,24	7,8	7,2	17,1	1.715	87,5	22,7
PO290 - Poços - Queimados ¹	10,8		32,4	10,7	0,76	1,67	1,9	7,0	31,9	280.095	139,7	23,0
QM271 - Queimados - Queimados ¹	10,5	3,89	21,2	33,6	2,09	5,22	1,0	7,3	32,9	1.391.397	272,6	24,0
IR251 - Ipiranga - Nova Iguaçu ¹	5,1		26,0	17,4	1,50	5,36	1,4	7,1	16,3	768.489	203,1	23,2
GN200 - Guandu - Nova Iguaçu (captação ETA)	0,0	187,56	63,6	2,4	0,12	1,67	7,2	6,5	21,8	9.383	73,0	23,6
Categoria de resultados	Excelente		Boa			Média			Ruim		Muito Ruim	
IQA (NSF)	100 ≥ IQA ≥ 90		90 > IQA ≥ 70			70 > IQA ≥ 50			50 > IQA ≥ 25		25 > IQA ≥ 0	

¹Afluentes do rio Guandu.

*Sondotécnica, 2007.

**Calculado no Google Earth, com base nos dados do INEA, 2022c.

Estação IR251 dados de 2014, 2015, 2016 e 2021.

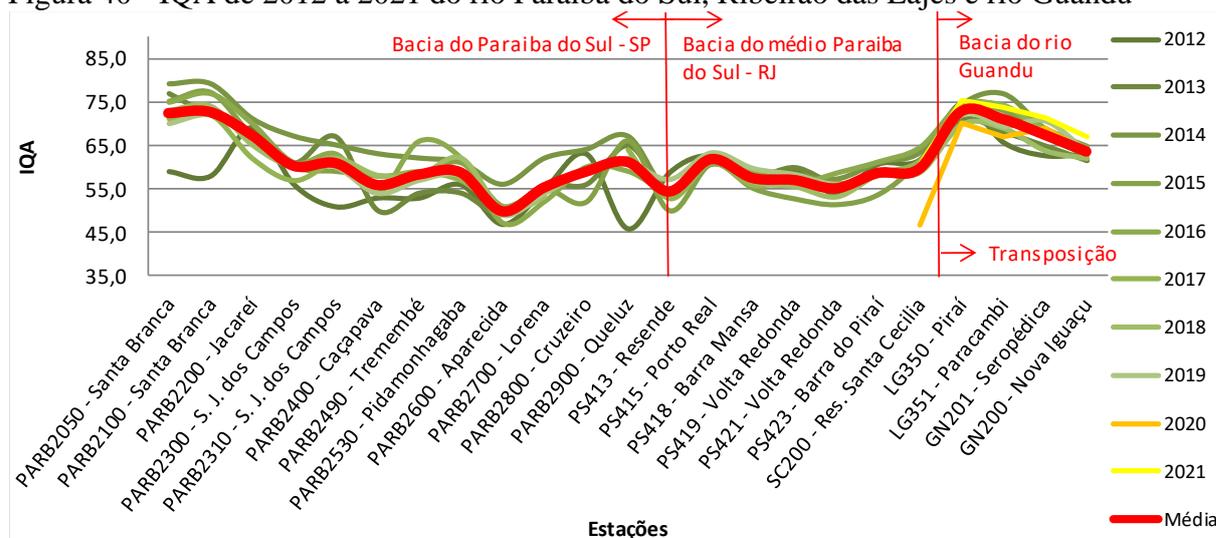
Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

A última estação de monitoramento deste trabalho é justamente no ponto captação da ETA Guandu (GN200), local que recebe as águas poluídas dos rios Poços/Queimados, Cabuçu/Ipiranga, reflexo dos baixíssimos índices de coleta e tratamento de esgotos nos municípios que circundam esses afluentes do Guandu, conforme visto neste estudo.

Os resultados do IQA nas estações QM271 e PO290 (respectivamente, rio queimados e poços), refletem essa baixa qualidade da água, influenciados pelos valores de OD, DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes muito fora dos limites para rios de classe 4, na média entre os anos de 2012 e 2021, em linha com o divulgado pela ANA (2021).

A Figura 40 ilustra a variação da qualidade da água medida pelo IQA consolidado, entre 2012 e 2019, desde Jambeiro até o ponto de transposição (desconsiderando a estação de Funil, pois a melhora na qualidade da água não é refletida no percurso do rio) e deste ponto até a captação de água pela CEDAE para ETA Guandu entre 2012 a 2021.

Figura 40 - IQA de 2012 a 2021 do rio Paraíba do Sul, Ribeirão das Lajes e rio Guandu



Fonte: Autor, dados INEA, 2022c e CETESB, 2019.

Os resultados encontrados neste estudo, ilustrado na Figura 40, indicam uma significativa piora na qualidade da água do rio Paraíba do Sul a jusante da estação PARB2100 em Sta. Branca, após percorrer seu trecho com maior densidade urbana, entre Jacareí e Pindamonhangaba (CEIVAP, 2020).

O IQA médio a jusante da estação Sta. Branca até reservatório de Santa Cecília (Ponto de transposição) se mantém entre 50 e 62. No entanto, quando as águas do rio Paraíba do Sul se unem as águas da Bacia do rio Guandu através da transposição há uma melhora substancial do IQA. Observado na estação LG350 no rio Ribeirão das Lajes (IQA médio, 72,8), na cidade

de Piraí, influenciada provavelmente pelas águas da represa de Ribeirão das Lajes, localizada na UHP 3, onde apresenta maior percentual de cobertura florestal da Bacia do rio Guandu.

Entretanto, a qualidade no ponto de captação da ETA Guandu, mais a jusante na Bacia, apresenta uma piora substancial (63,6 na Estação GN200), em função da mistura das águas do rio Guandu com seus afluentes altamente poluídos (rios Poços/Queimados e Ipiranga) que desembocam na Lagoa do Guandu. Esta situação é coerente com a falta de infraestrutura sanitária local, evidenciada nos itens anteriores.

Os resultados deste estudo permitiram evidenciar a evolução da qualidade da água da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a montante da transposição e da Bacia hidrográfica do rio Guandu, indicando alto grau de comprometimento da qualidade de água, justificado pela intensa antropização.

4.4.2 Desconformidade dos parâmetros de qualidade de água em relação ao enquadramento dos corpos hídricos

A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo padrões de qualidade das águas através do uso de limites individuais para diferentes substâncias. O enquadramento estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo, assegurando a qualidade compatível com os usos mais exigentes e das necessidades estabelecidas pela sociedade.

Visto que o impacto da poluição no corpo hídrico é maior quanto mais próximo do ponto de captação, foi considerado somente um ponto no rio Paraíba do Sul para esse estudo, justamente o ponto na transposição, na estação SC200, afim de saber a qualidade da água de entrada no sistema, os demais pontos no rio Paraíba do Sul não foram aplicados nesta análise.

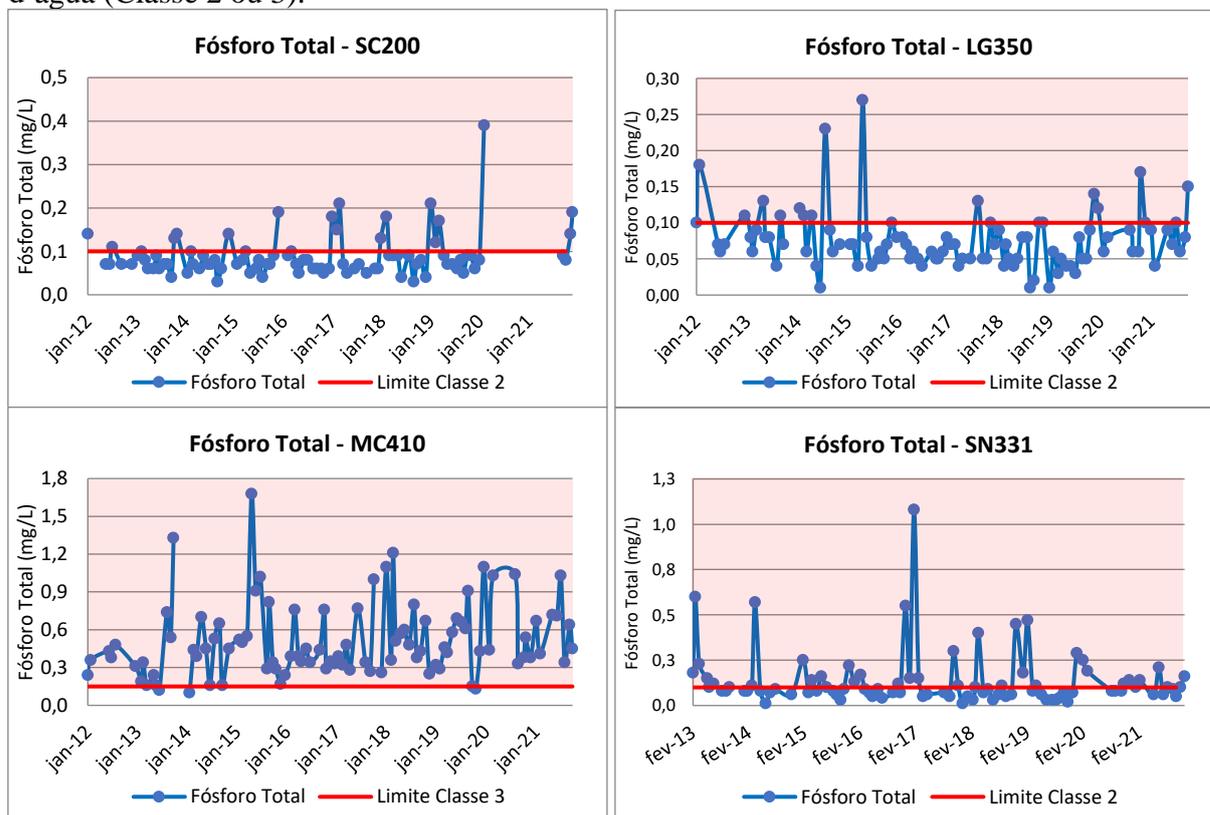
O enquadramento dos rios de domínio estadual ainda não foi proposto para a Região Hidrográfica de abrangência do Comitê Médio Paraíba do Sul, portanto no trecho do rio Paraíba do Sul onde se localiza a estação SC200, é considerado Classe 2 (CBH-MP, 2021). Dentro da Bacia do rio Guandu os corpos d'água principais (Ribeirão das Lajes e rio Guandu) estão enquadrados também na classe 2, e classe 3 para os rios Poços, Queimados e Ipiranga, segundo a proposta de enquadramento do PERH Guandu (ANA, 2006).

Em relação aos parâmetros que compõem o IQA, foram analisados os valores de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrato (NO₃)/ Nitrogênio Amoniacal (NH₃), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (T),

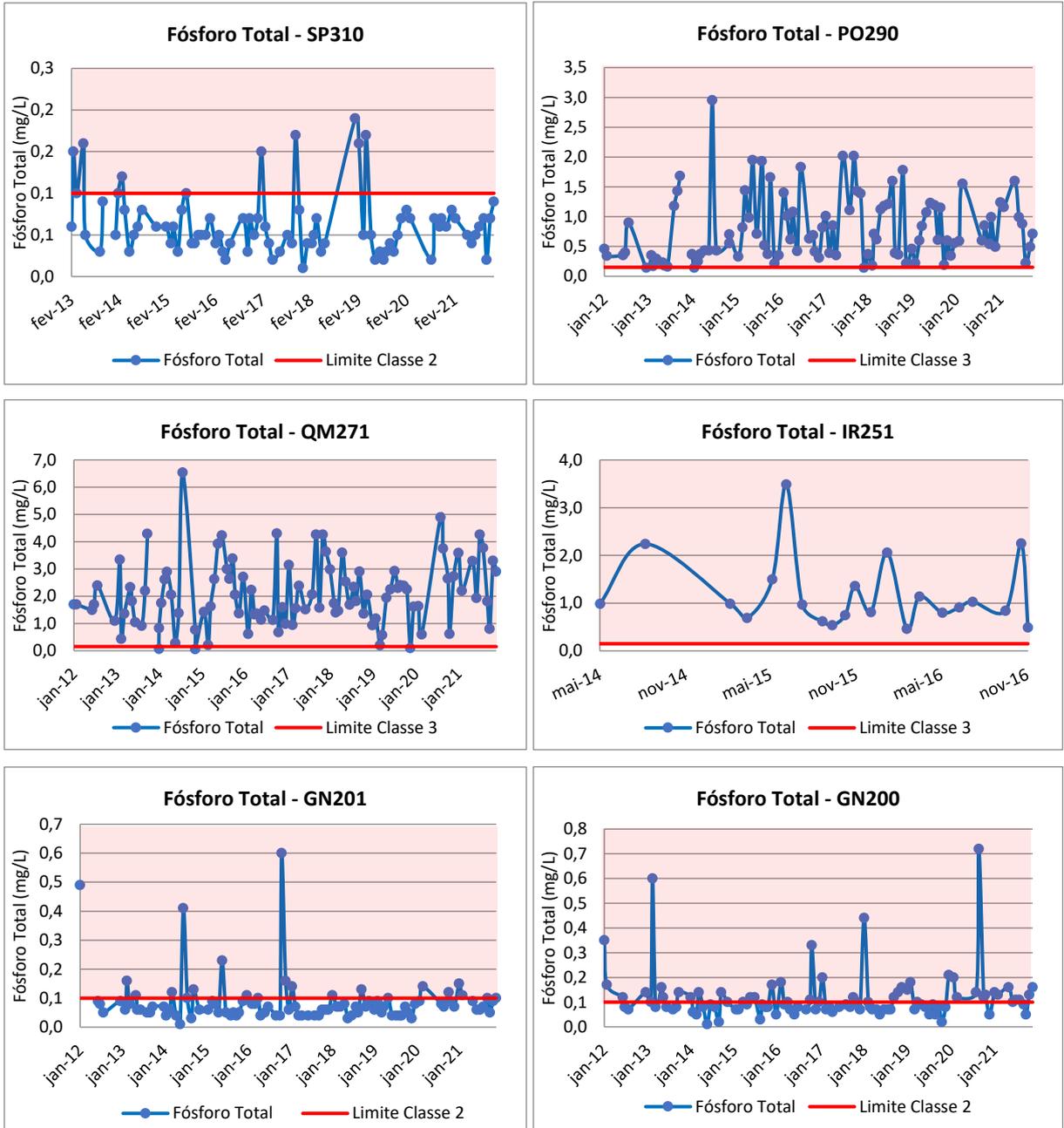
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), e Coliformes Termotolerantes, desde o ponto de transposição até a captação da ETA Guandu, nos pontos considerados relevantes. Observou-se que o INEA considerou entre 2012 a 2019 o Nitrato como parâmetro para compor o IQA. Porém nos anos de 2020 e 2021 foi considerado o Nitrogênio Amoniacal⁷.

As Figuras 41 a 47 apresentam alguns dos parâmetros com violações da Classe 2, com exceção do rio Macaco, Poços, Ipiranga e Queimados, que foram considerados na Classe 3, para o pH foi elaborado o gráfico das únicas estações com resultados fora do limite a GN200 e SP310. A Tabela 11 a seguir, apresenta o percentual de amostras em desconformidade com enquadramento entre 2012 e 2021, com exceção ao rio Ipiranga (IR251) que possui dados somente de 2014, 2015, 2016 e 2021.

Figura 41 - Ocorrência de Fósforo Total e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

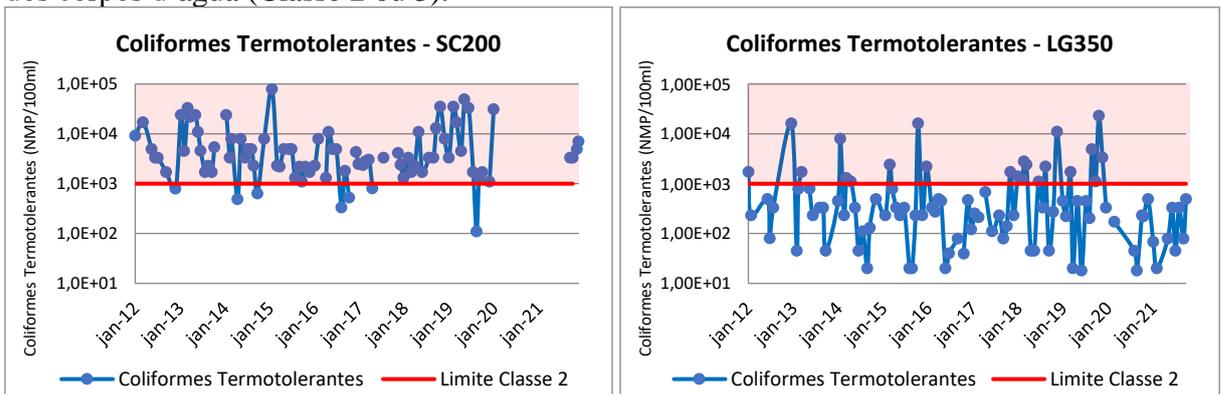


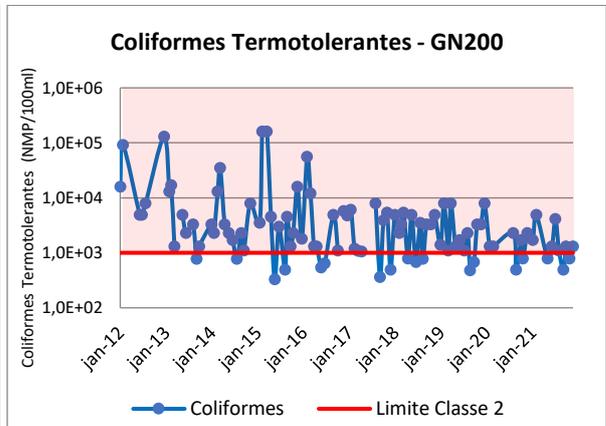
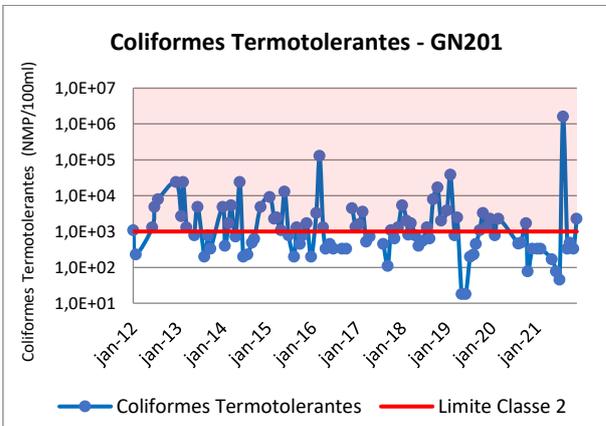
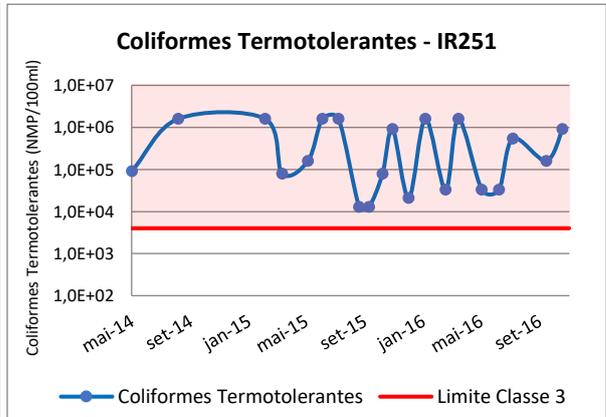
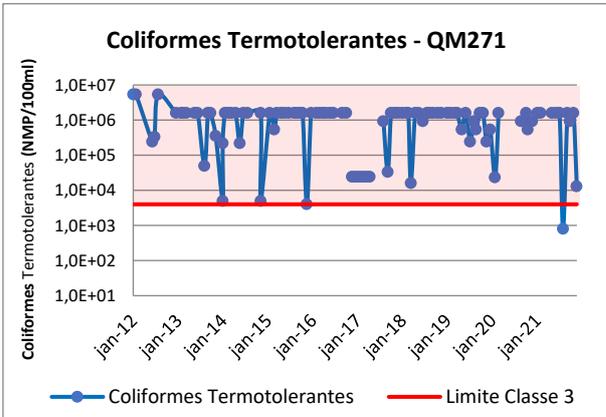
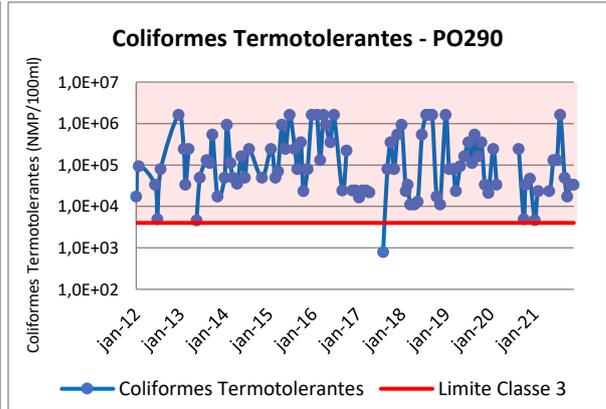
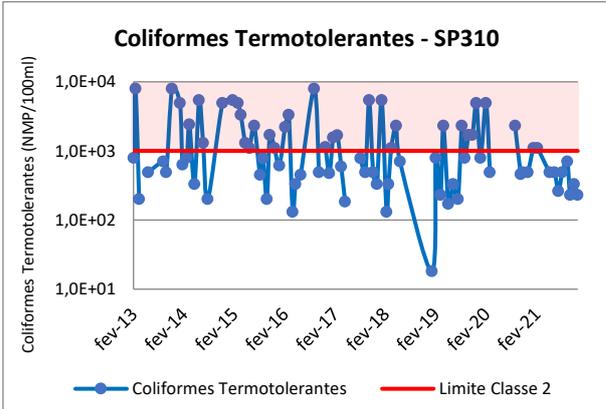
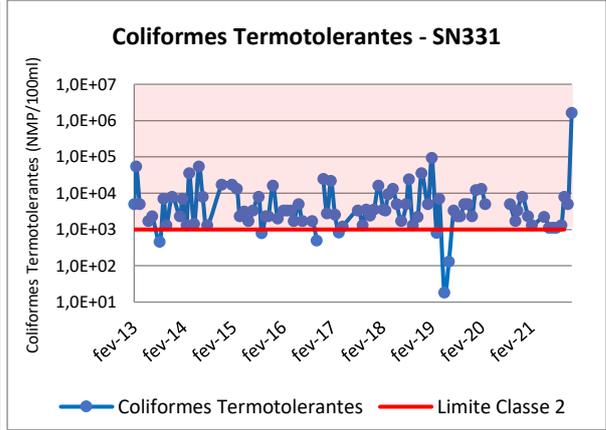
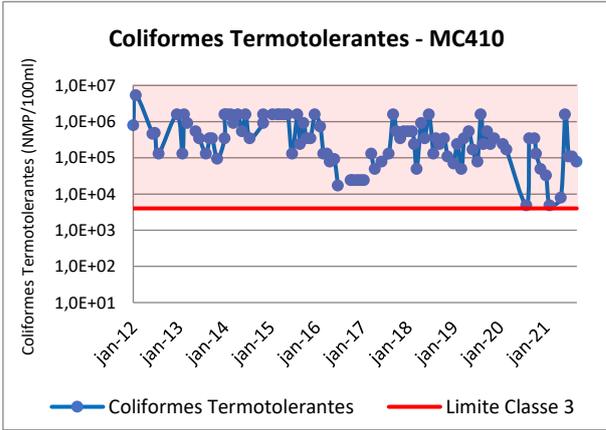
⁷Segundo o CONAMA nº 357 de 2005, para rios de classe 2, o nitrogênio amoniacal possui os seguintes limites superiores de acordo com o pH: 3,7mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$; 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; 1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ e 0,5 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$. Para rios de classe 3: 13,3 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$; 5,6 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; 2,2 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$; 1,0 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$.



Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

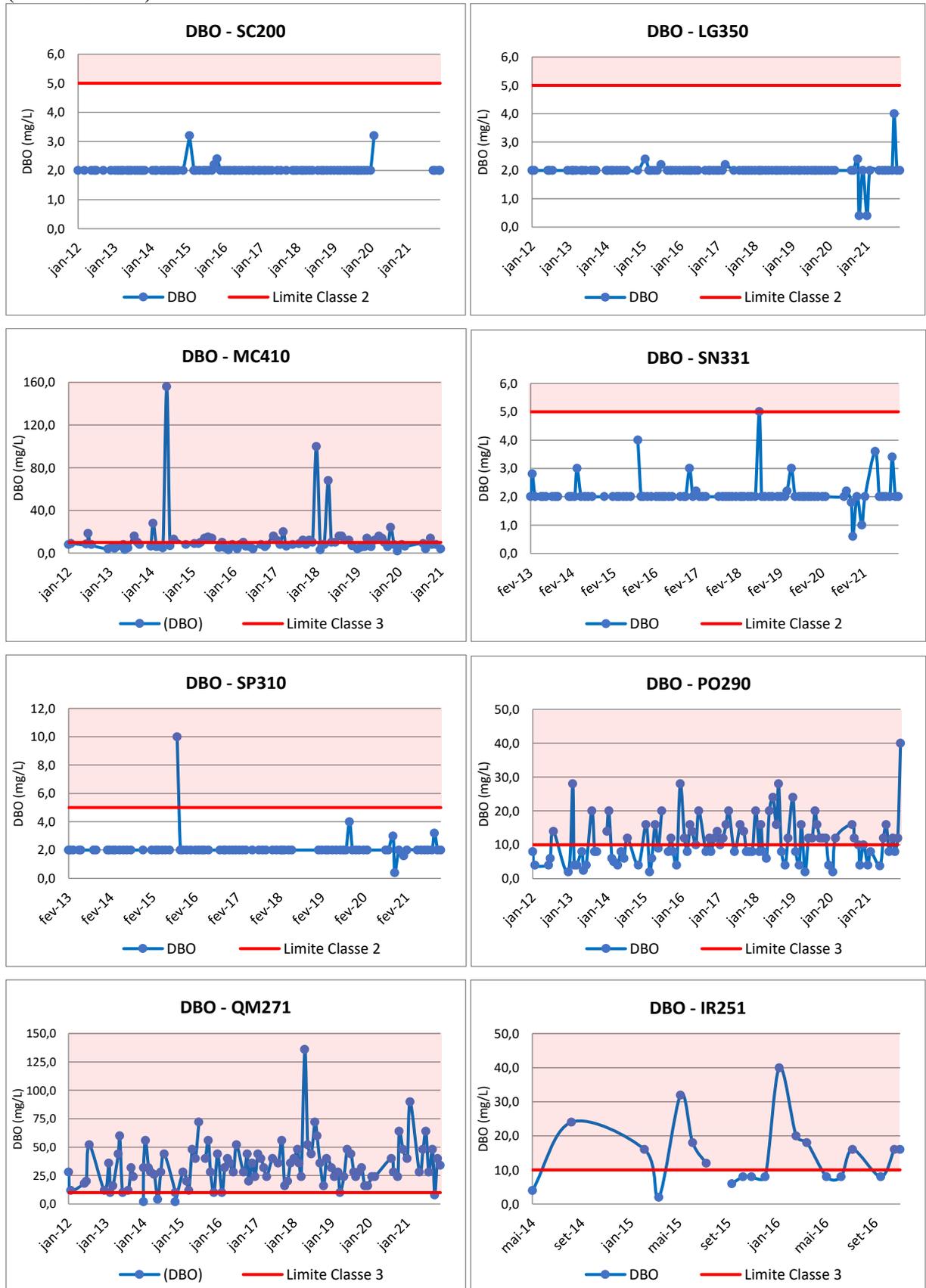
Figura 42 - Ocorrência de Coliformes Termotolerantes e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

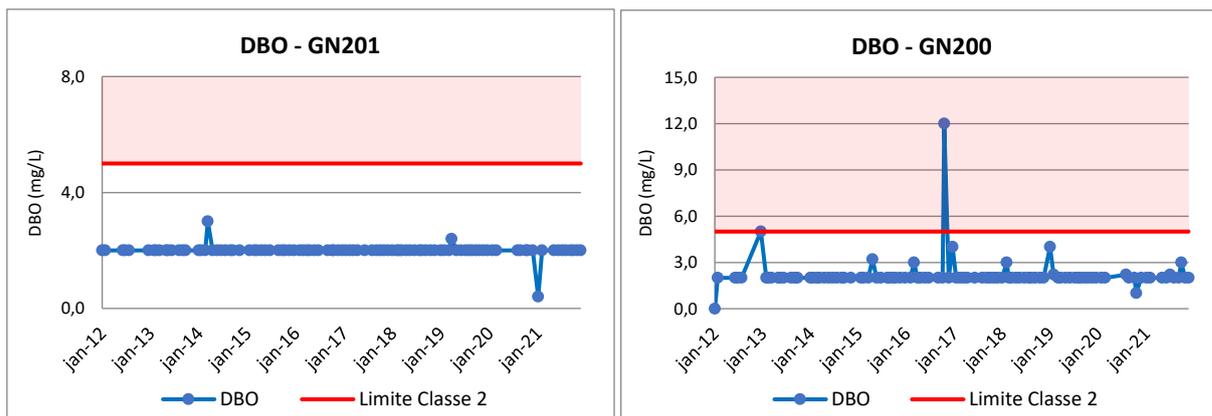




Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

Figura 43 - Ocorrência de DBO e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

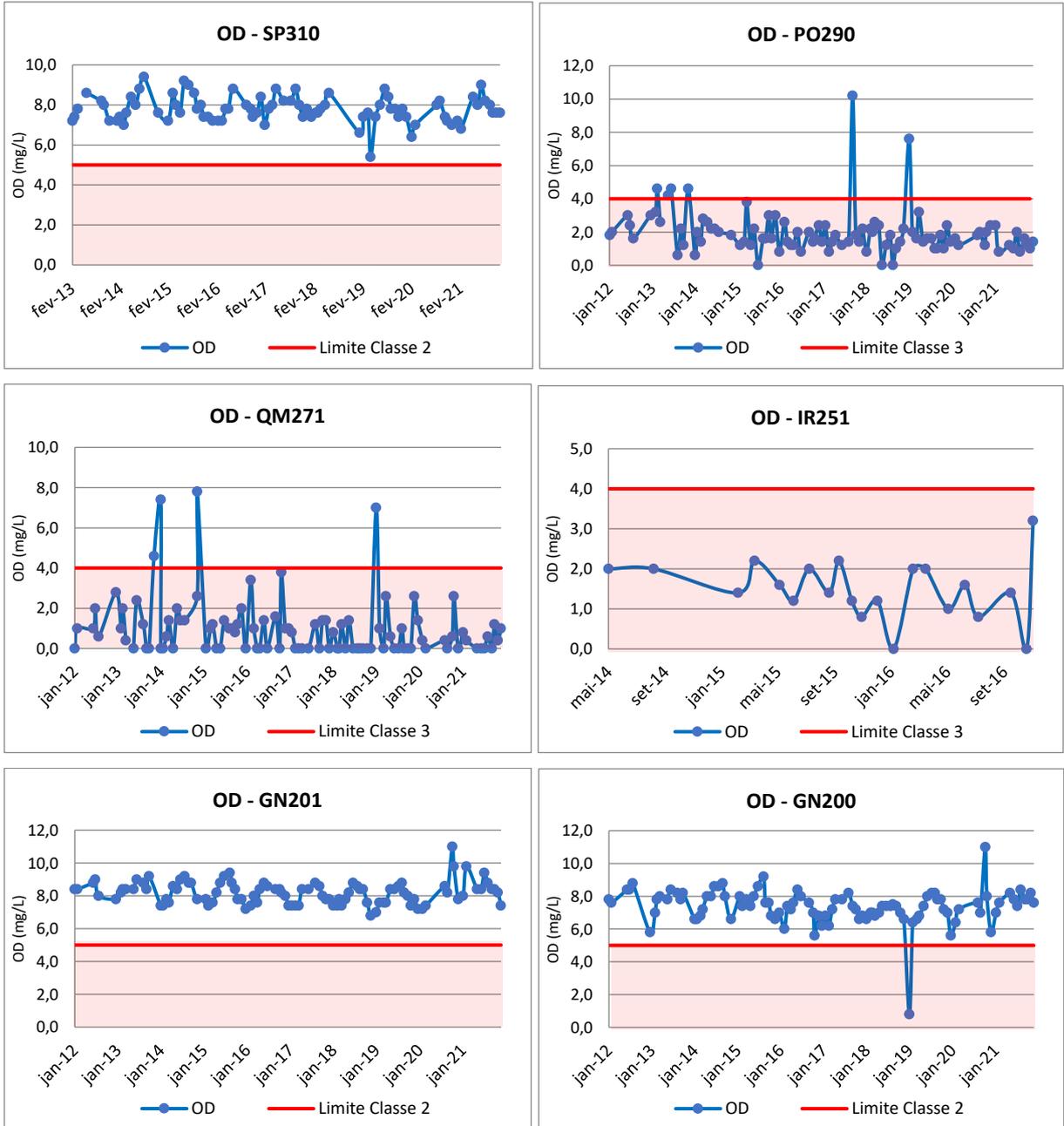




Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

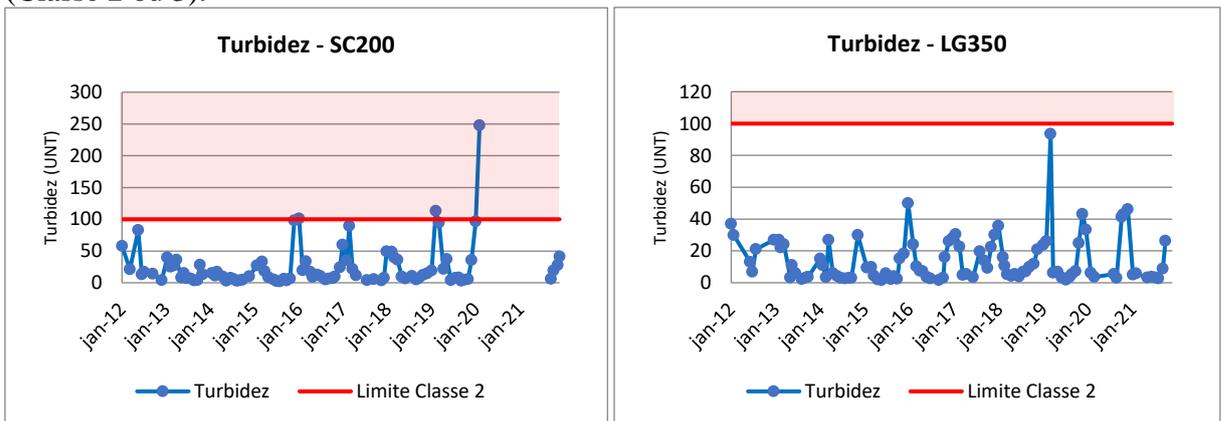
Figura 44 - Ocorrência de OD e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

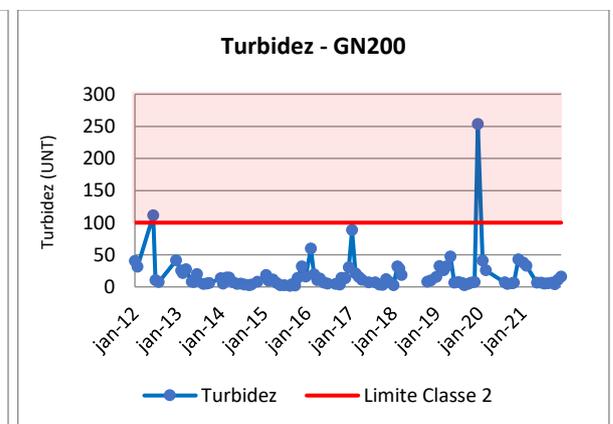
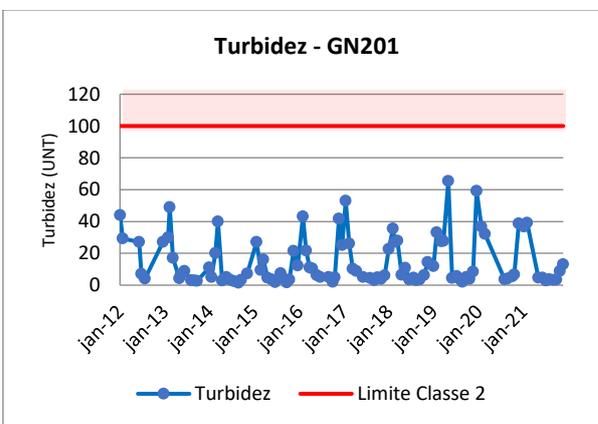
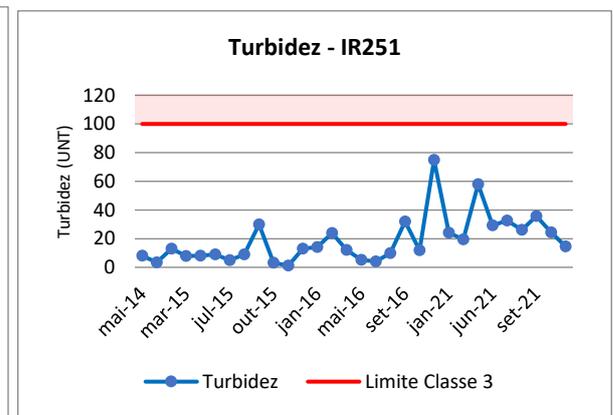
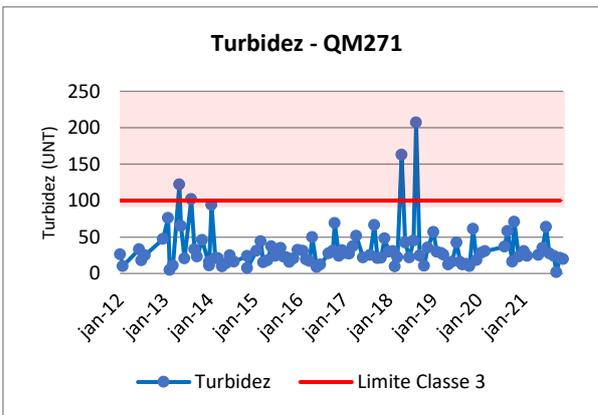
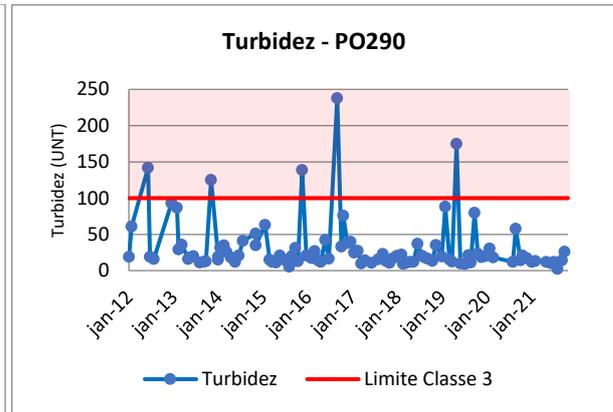
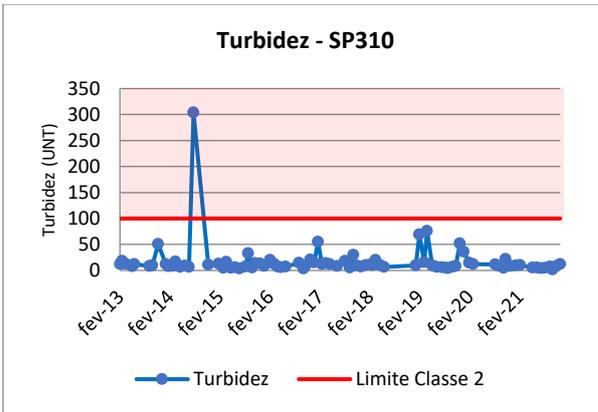
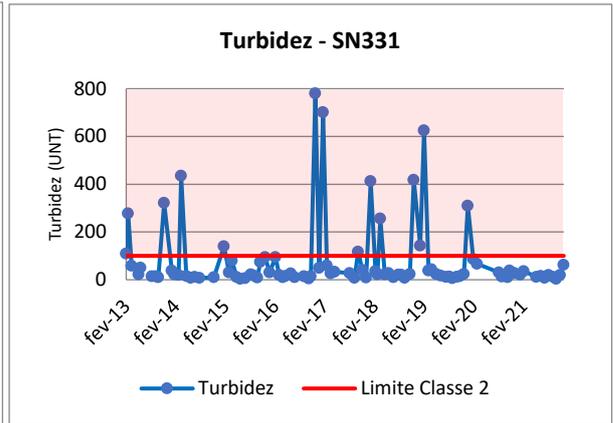
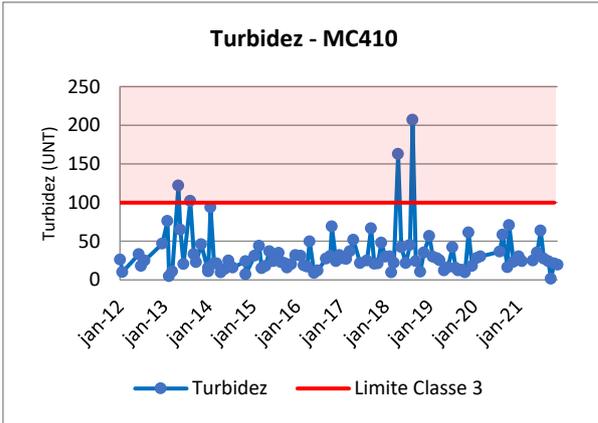




Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

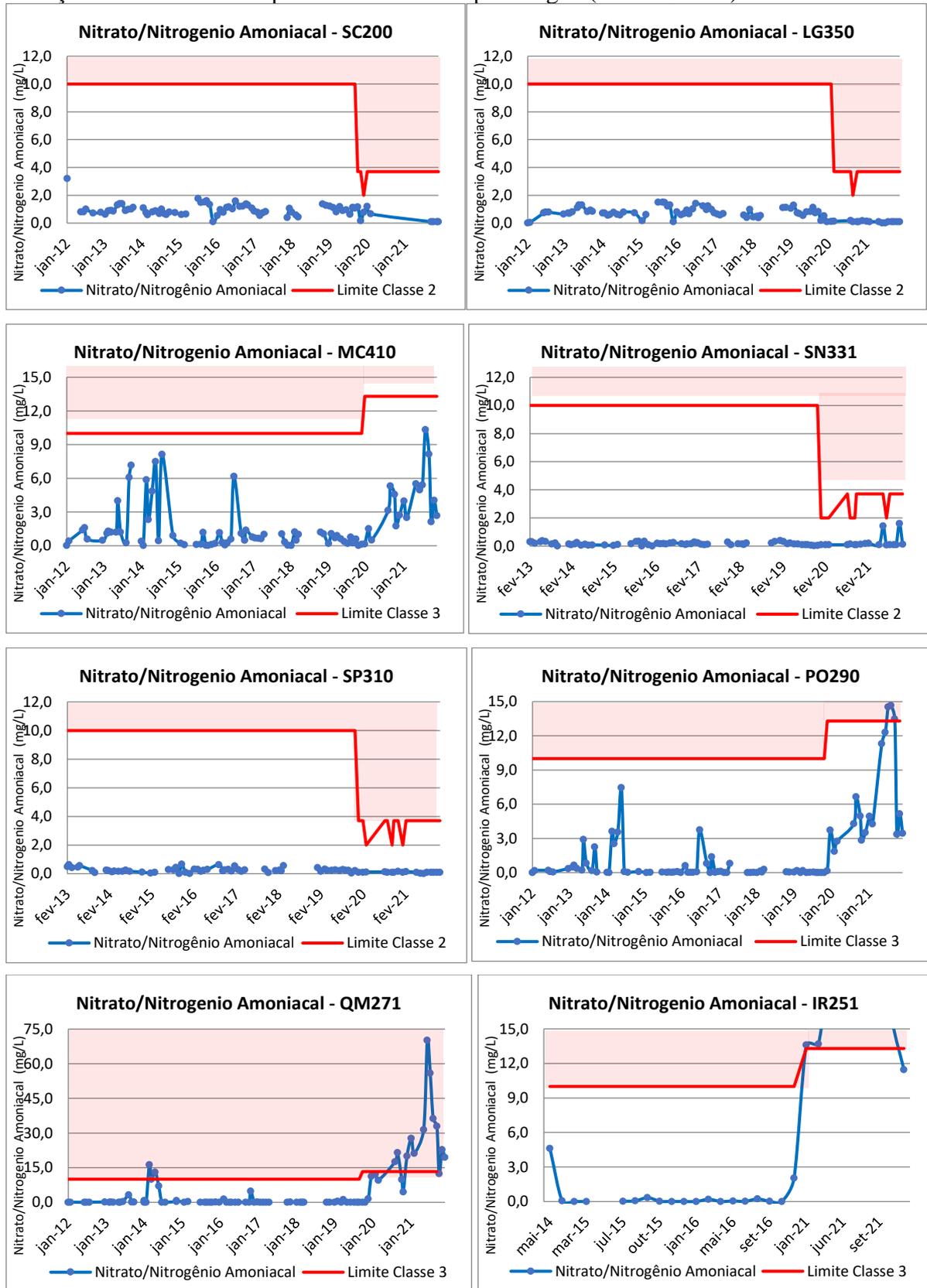
Figura 45 - Ocorrência de Turbidez e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

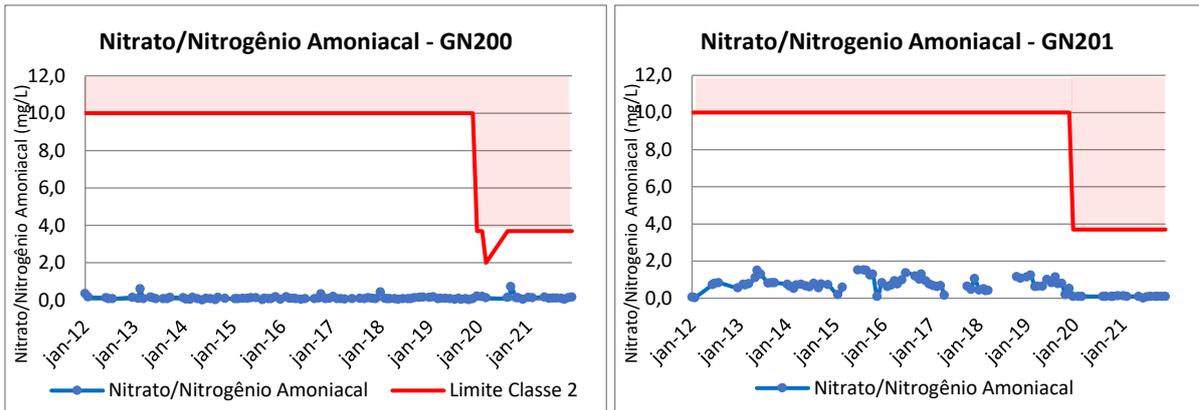




Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

Figura 46 - Ocorrência de Nitrato até 2019, de Nitrogênio Amoniacal a partir de 2020 e violações de classes de enquadramento dos corpos d'água (Classe 2 ou 3).

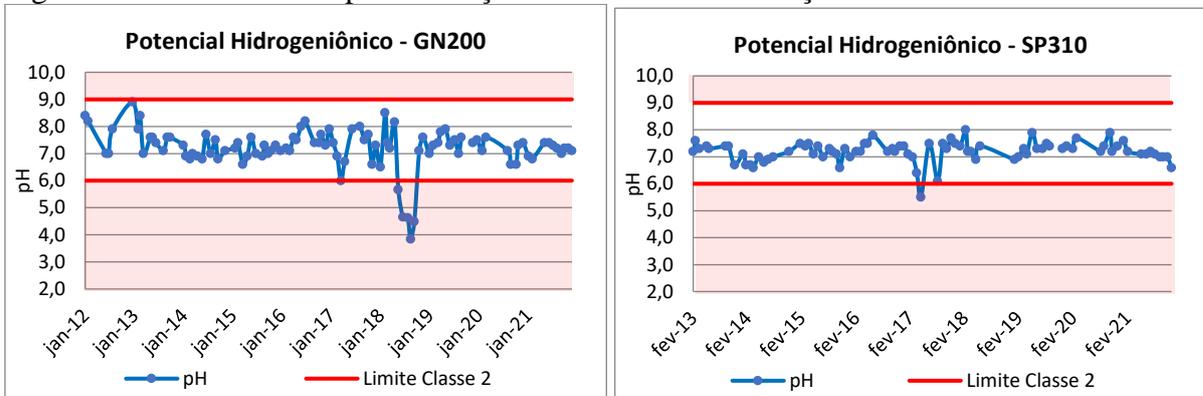




Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

Nota: Valores-limite de Nitrogênio Amoniacal depende do pH (BRASIL, 2005).

Figura 47 - Ocorrência de pH e violações de Classe 2 nas estações GN200 e SP310.



Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

A água que entra no sistema de transposição, possui Coliformes Termotolerantes elevados, com violação em 90,5% das amostras, porém os demais parâmetros estão considerados como desconformidade ocasional ou em conformidade (Tabela 11).

Nos rios de Classe 3 (Macacos, Poços, Queimados e Ipiranga), os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, OD e Fósforo Total apresentaram valores preocupantes, muito acima dos limites de classificação, violando o limite do enquadramento em boa parte das amostras (Tabela 11).

Observou-se violações para os parâmetros DBO, OD, pH e Turbidez na estação GN200, foi classificado como desconformidade ocasional, abaixo de 25% das amostras. Os parâmetros Nitrato e Sólidos Dissolvidos Totais estão em conformidade. Porém, o Fósforo Total está em desconformidade regular (35,2%) e Coliformes Termotolerantes, apresenta desconformidade quase constante (83%) nas amostras (Tabela 11).

Tabela 11 - Percentual de amostras em desconformidade com enquadramento para as principais estações na Bacia do rio Guandu entre 2012 e 2021

	Estações	BDO	Fósforo	Nitrato	OD	pH	Turbidez	Coliformes	SDT
			Total					Termot.	
% de amostras em desconformidade	SC200	0,0%	18,9%	0,0%	4,4%	0,0%	3,3%	91,8%	0,0%
	LG350	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	23,2%	0,0%
	MC410	27,8%	95,9%	1,2%	72,4%	0,0%	9,1%	100,0%	0,0%
	SN331	0,0%	33,7%	0,0%	0,0%	0,0%	15,2%	81,1%	1,1%
	GN201	0,0%	17,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	49,0%	1,0%
	SP310	1,2%	9,5%	0,0%	0,0%	1,2%	1,2%	42,0%	1,2%
	QM271	90,0%	97,0%	19,3%	95,0%	0,0%	3,9%	99,0%	1,0%
	PO290	48,0%	97,0%	5,7%	93,9%	0,0%	5,0%	99,0%	1,0%
	IR251	69,0%	100,0%	28,6%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%
	GN200	1,0%	38,6%	0,0%	1,0%	5,1%	2,1%	81,6%	0,0%
Total amostras GN200		101	101	95	100	99	95	98	101
Total amostras em desconformidade GN200		1	39	0	1	5	2	80	0

*Estação IR251 - Dados de 2014, 2015, 2016 e 2021.

Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

Legenda:

Classificação
● 0% (em conformidade)
● >0,1 e <25% (desconform. ocasional)
● >25 e <50% (desconform. regular)
● > 50 e <80% (desconform. muito frequente)
● >80% (quase constante)

Fonte: Ikemoto, 2020.

Os resultados permitiram inferir que os pontos localizados nos rios Macacos, Poços, Queimados e Ipiranga apresentaram situações mais críticas em relação aos demais, com mais violações dos valores de enquadramento para águas doces, principalmente em Coliformes Termotolerantes e Fósforo Totais, com quase 100% das amostras acima do limite corpos hídricos de classe 3 (Tabela 11). Refletindo as consequências da interferência humana na qualidade da água que chegam na ETA Guandu.

Pode-se notar que durante o período da crise hídrica de 2014-2015 o teor de Fósforo Total em 7 das 10 estações analisadas tiveram seus valores muito elevados, em alguns casos chegando à máxima para o período analisado.

Já na crise da geosmina entre 2020-2021 todas as estações estudadas tiveram elevação recorde de temperatura do ar, principalmente entre janeiro e fevereiro de 2020, a Figura 48 a seguir no item 4.4.3 ilustra esse aumento da temperatura nas estações GN200 e GN201. A

estação GN200, na captação da ETA Guandu teve recorde da elevação dos valores de Fósforo Total, OD e Turbidez, além da temperatura do ar. Podendo esse conjunto de fatores ter contribuído para o aumento da proliferação da geosmina.

Em relação aos dados de monitoramento semestral da qualidade de água bruta realizada no ponto de captação do sistema Guandu pela CEDAE, vide Anexo B, observou-se a violação dos limites de enquadramento para os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total, conforme já apontado neste estudo.

4.4.3 Episódios de poluição aguda no verão dos anos de 2020 e 2021

Cabe destacar que os valores dos indicadores de poluição são bem maiores nos afluentes da Lagoa do Guandu do que no próprio rio Guandu a montante da barragem principal da ETA Guandu, de acordo com os dados do IQA.

Por receber diretamente muitos poluentes, a Lagoa do Guandu acaba tendo a função de amortecedor da poluição, tal qual uma lagoa de estabilização (COELHO, *et al.*, 2012; KLIGERMAN *et al.*, 2021 e OTTONI e OTTONI, 2022). Porém, como ressalta os autores, esta não é oficialmente uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do tipo lagoa de estabilização: inclusive o lodo depositado ao longo dos anos não tem sido removido; por essa razão, a altura do seu espelho de água vem diminuindo à medida que o lodo é acumulado no fundo. Em consequência, além da área da lagoa aumentar de tamanho, ela se torna um local propício à proliferação de algas, devido à alta carga de nutrientes que recebe, à baixa taxa de renovação hídrica, além da presença de luz e calor (KLIGERMAN *et al.*, 2021).

Em ambientes eutrofizados, isto é, ricos em Nitrogênio e Fósforo provenientes de esgotos domésticos, industriais e atividades agrícolas, as cianobactérias quase sempre constituem o grupo fitoplanctônico dominante, algumas dessas algas tem o potencial de produzir cianotoxinas (BRASIL, 2014; REGUEIRA, 2020). Essas florações podem provocar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento e consequências relacionadas à saúde pública (BRASIL, 2014). Portanto, seu controle em mananciais torna-se fundamental.

No verão de 2020 e 2021, a CEDAE divulgou que as condições de qualidade da água apresentando sabor de terra, odor forte e cor amarronzada, eram causadas pela proliferação de algas e da substância geosmina (SMIDERLE *et al.* 2020 e MARTINS *et al.* 2021). A geosmina está ligada ao odor de terra molhada, ao cheiro de mofo e ao gosto terroso em alimentos e na água (REGUEIRA, 2020). Estudos mais recentes de dados metagenômicos indicaram que a

substância responsável pelo gosto e odor neste período foi o metilisoborneol (2-MIB), além da geosmina (MARTINS et al. 2021).

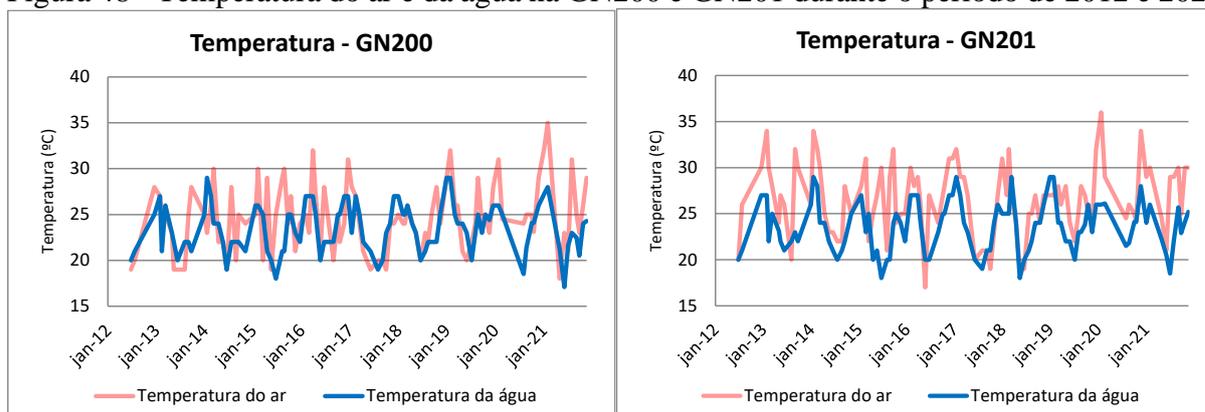
No início do mês de janeiro de 2020, coincidindo com a presença de geosmina na água distribuída pela CEDAE, a população do Rio de Janeiro apresentou aumento nos problemas de diarreia e náusea. Conforme declarações da CEDAE, esta substância não apresentava risco à saúde e poderia ser consumida, mas dados obtidos nas unidades de pronto atendimento (UPAs) de Santa Cruz e Campo Grande indicaram que, no período de 20 de dezembro de 2019 a 05 de janeiro de 2020, houve 783 casos de gastroenterite e vômitos, de origem infecciosa ou não, contra 282 no mesmo período de 2018 a 2019 (GOULART, 2020). Aumento significativo também ocorreu nos casos de diarreia, com 588 ocorrências contra 378 no período anterior (GOULART, 2020).

As reclamações da população carioca e a pressão de inúmeros veículos de comunicação sobre a CEDAE, em relação ao segundo verão consecutivo na qual a água apresentava cheiro forte, odor e coloração indesejável da água tratada, fizeram a mesma realizar uma ação inédita nos dias 21 e 22 de janeiro de 2021, a companhia desligou por completo a estação do Guandu por 10 horas, podendo assim abrir as comportas da lagoa de captação e escoar as impurezas da água, além de poder realizar as devidas manutenções (CALCAGNO, 2021).

Como observado na Figura 48, o verão de 2020 e 2021, teve a maior alta de temperatura do ar registrada nos últimos 11 anos, chegando a 36° em fevereiro de 2020 na estação GN201 e 35° na estação GN200 em fevereiro de 2021. Analisando somente esses dados pode-se concluir que a elevação na temperatura do ar neste período, em conjunto com os demais fatores relatados anteriormente, pode ter influenciado na crise da geosmina.

A ocorrência de geosmina e do 2-MIB confirma a gravidade da poluição no ponto de captação, que provocou uma crise de abastecimento na ponta (impactando o consumidor final), algo antes nunca registrado. De modo que o uso do tratamento convencional, utilizado pela ETA Guandu, não é suficiente para garantir a qualidade da água requerida para abastecimento urbano, sendo necessários tratamentos avançados (ANA, 2021).

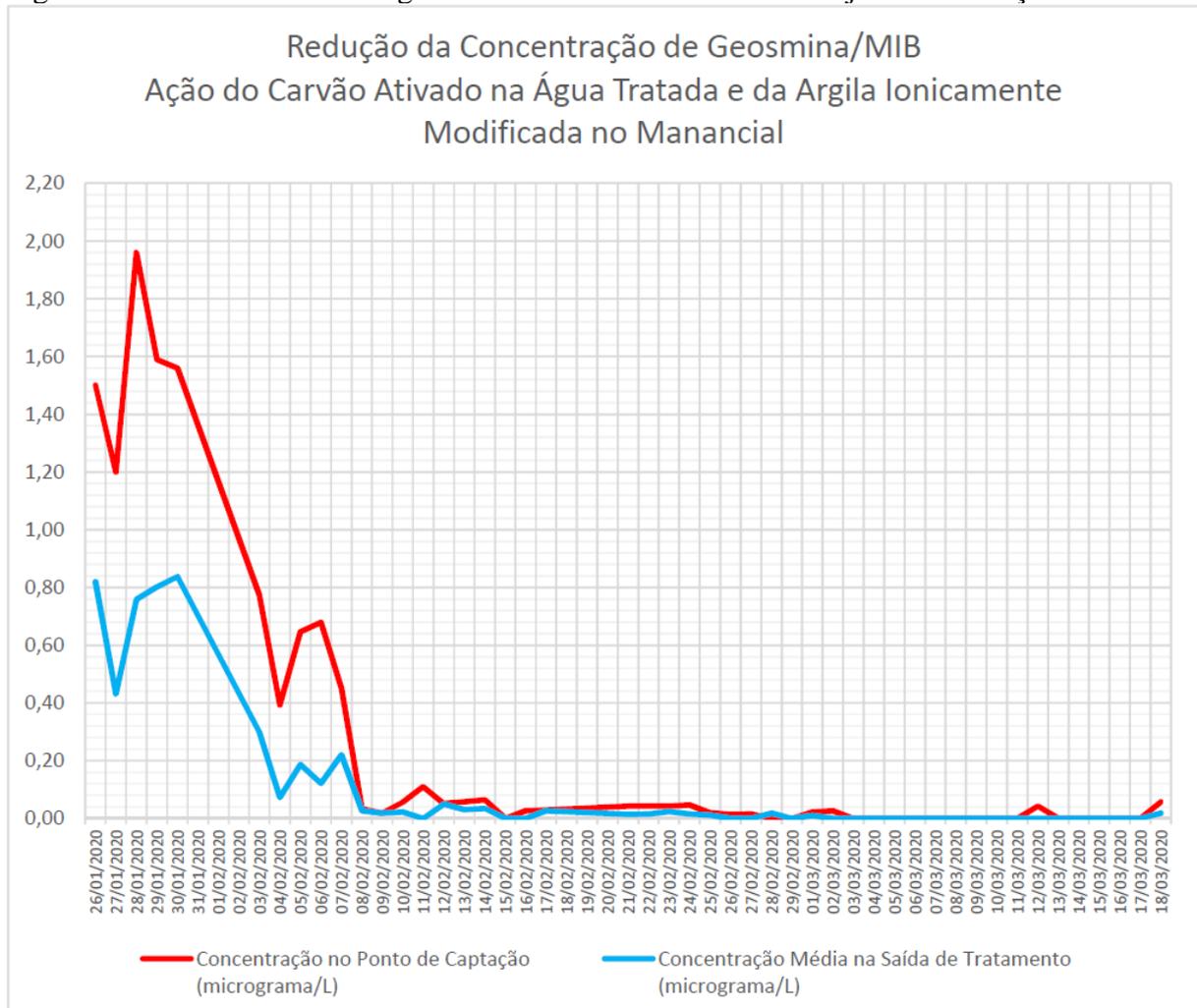
Figura 48 - Temperatura do ar e da água na GN200 e GN201 durante o período de 2012 e 2021



Fonte: Autor, 2022, elaborado a partir de dados do INEA, 2022c.

Como esse episódio é recente, não existiam valores de referência para Geosmina e 2-Metilisoborneol (MIB) no padrão de Potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde, em vigência na época dos eventos, a Portaria de Consolidação nº 05/2017. Além disso o monitoramento das duas substâncias em água de abastecimento público não é exigido pelo Ministério da Saúde. Entretanto, a partir de 26 de janeiro de 2020 começou a ser monitorado pela CEDAE, atingindo seu pico em 28 fevereiro de 2020, com 1,96 micrograma por litro (Figura 49). Após algumas intervenções paliativas da CEDAE esses valores começaram a abaixar, porém como não foi realizado nenhuma intervenção definitiva pela CEDAE, no verão de 2021 o problema retornou de forma semelhante, se estendendo até abril de 2021, onde teve valores bastante elevados na primeira semana deste mês (ANEXO B).

Figura 49 - Monitoramento de geosmina - MIB - Sistema Guandu janeiro a março de 2020



Fonte: CEDAE, 2020a.

Recentemente a CEDAE instalou novas boias que possuem um aparelho de ultrassom, um sonar, que impede que as algas que ficam no fundo da lagoa venham à superfície. A ideia é que elas não venham a superfície, não tenham maior contato com os raios solares e não se reproduzam, eliminando a possibilidade de proliferação da geosmina (ALVEZ, 2022).

4.4.4 Poluentes emergentes

Um dos principais resultados da revisão sistemática efetuada no âmbito desta dissertação foram os trabalhos encontrados na literatura sobre poluentes emergentes no rio Guandu, sistematizados no Quadro 8, adiante. Dentre eles estão incluídos: o Glifosato, o Nonilfenol, a Cafeína, o Bisfenol A (BPA), o estrona (E1), o 17 β -estradiol (E2), o estriol (E3), o 17 α -etinilestradiol (EE2), o Dimetil ftalato (DMP), bis(2-etil-hexil) ftalato (DEHP), 4-octilfenol (4-OP), 4-nonilfenol (4-NP), dentre outros fármacos, além da presença de atividade cancerígena, cianotóxica e estrogênica.

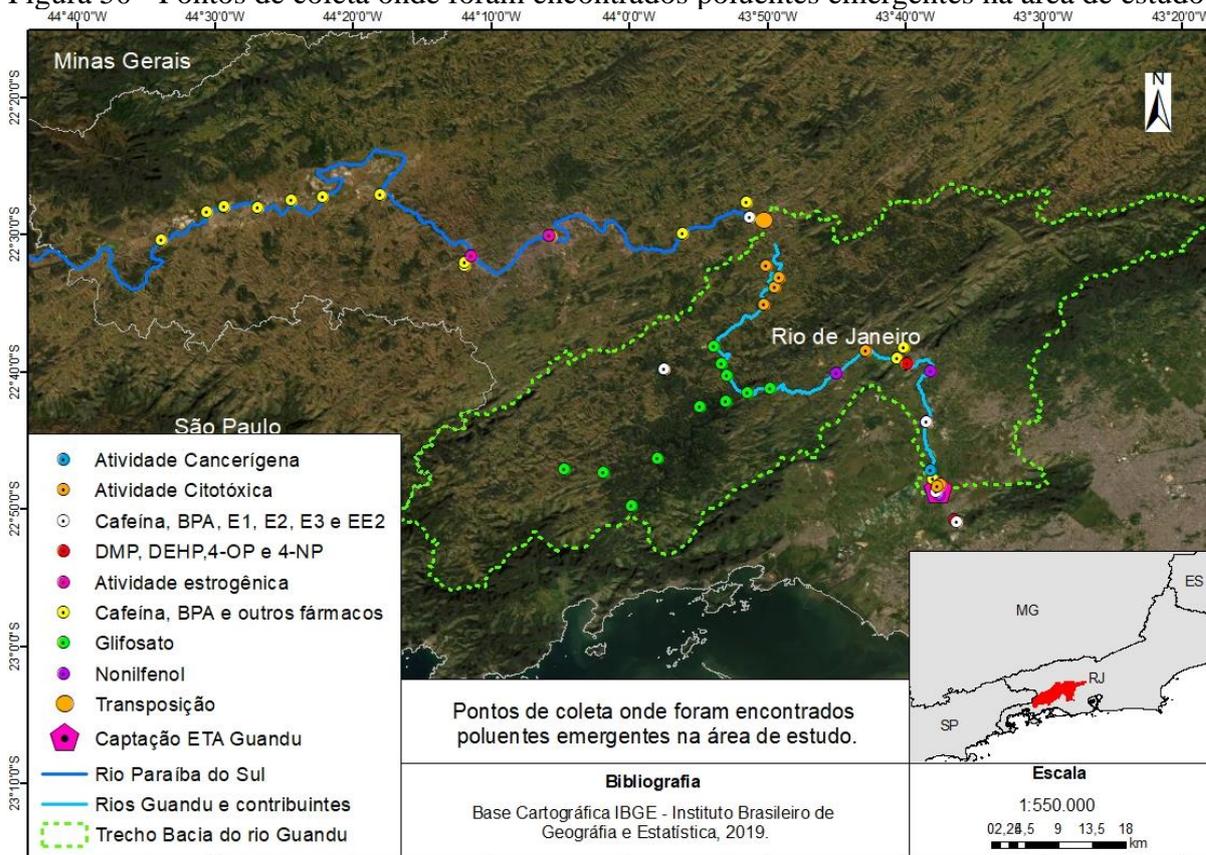
Quadro 8 - Poluentes emergentes detectados no rio Guandu e no rio Paraíba do Sul (no trecho entre o reservatório de Funil e o ponto de transposição) encontrados na literatura

Poluente/Atividade*	Autores
Glifosato	Cristofaro <i>et al.</i> , 2021
Potencial cianotóxica*	Sacramento <i>et al.</i> , 2020; Gomes <i>et al.</i> , 2015 e Ferreira, 2007
17 α -etimilestradiol	Fernandes, 2018
17-estradiol	Fernandes, 2018
Estrona	Fernandes, 2018
Estriol	Fernandes, 2018
Dimetil ftalato (DMP)	Licurgo <i>et al.</i> , 2016
Bis(2-etil-hexil) ftalato (DEHP)	Licurgo <i>et al.</i> , 2016
4-octilfenol (4-OP)	Licurgo <i>et al.</i> , 2016
4-nonilfenol (4-NP)	Licurgo <i>et al.</i> , 2016
Estrogênica*	Dias <i>et al.</i> , 2015
Nonifenol	De Araujo, 2015
Cafeína	Gonçalves, 2012 e Fernandes, 2018
Bisfenol A	Gonçalves, 2012 e Fernandes, 2018
Irbesartam	Gonçalves, 2012
Valsartam	Gonçalves, 2012
Naproxeno	Gonçalves, 2012
Losartam	Gonçalves, 2012
Ibuprofen	Gonçalves, 2012
Diclofenac	Gonçalves, 2012
Benzafibrato	Gonçalves, 2012
Trimetoprim	Gonçalves, 2012
Sulfameto	Gonçalves, 2012
Velanfaxine	Gonçalves, 2012
Tiabendazol	Gonçalves, 2012
Propranolol	Gonçalves, 2012
Sotalol	Gonçalves, 2012
Atenolol	Gonçalves, 2012
Fenazona	Gonçalves, 2012
Carbamazepina	Gonçalves, 2012

Fonte: Autor, 2022.

Os locais de coleta onde foram encontrados os poluentes emergentes selecionados neste estudo podem ser visualizados, na Figura 50. É observado que alguns poluentes como cafeína, BPA, E1, E2, E3, EE2, outros fármacos e a atividade estrogênica está presente no rio Paraíba do Sul, sendo, conseqüentemente, transpostos para a Bacia do rio Guandu.

Figura 50 - Pontos de coleta onde foram encontrados poluentes emergentes na área de estudo



Fonte: Autor, 2022.

Sistematizamos, a seguir, os resultados dos diferentes autores, subdivididos por poluentes e/ou atividade poluente.

4.4.4.1 Atividade Cancerígena

Segundo Reimann (2013), o rio Guandu está contaminado com substâncias que apresentam atividade cancerígena. As tilápias analisadas pelo autor apresentaram forte indício de contaminantes indutores de CYP1A. A subfamília CYP1A é uma das mais estudadas devido à ampla aplicação da indução em peixes como biomarcador de exposição a poluentes em ambientes de água doce e marinhos. Ainda segundo o autor diversos outros autores têm demonstrado que esta indução está associada à presença das contaminantes bifenilas policloradas (PCB) e dioxinas, que apresentam atividade cancerígena.

4.4.4.2 Atividade citotóxica e genotóxica

Ferreira (2007), analisou amostras mensais em 4 pontos da Bacia do rio Guandu, no início do rio Guandu, na captação da ETA Guandu, no rio Queimados, após passar a área urbana

e no rio Queimados, após passar a área urbana e industrial, durante o período de março de 2006 a fevereiro de 2007, perfazendo um total de 12 meses.

Verificou-se por Ferreira (2007), que os teores de Fósforo Total, Nitrato e Potássio encontrados no rio Queimados eram muito superiores ao encontrado no rio Guandu. Segundo o autor em consequência o grande aporte desses componentes e as condições de insolação e temperatura, principalmente na lagoa do Guandu, são favoráveis ao crescimento e aumento nas populações de algas e outras plantas aquáticas.

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações podem produzir microcistina, que é uma classe de cianotoxinas, caracterizadas por serem substâncias hepatotóxicas solúveis em água e quimicamente estáveis. Entretanto o processo convencional de tratamento de água para consumo humano é capaz de remover as células de cianobactérias, porém, não eliminam as cianotoxinas (FERREIRA, 2007).

Sacramento *et al.* (2020), realizou a coleta de água em 4 pontos distintos no rio Piraí, a jusante da transposição, entre 2017 e 2018, detectando a presença de poluentes com ação citotóxica e genotóxica na água deste rio. Segundo os autores a presença de poluentes traz riscos reais aos organismos de diferentes níveis tróficos, incluindo o homem.

Gomes *et al.* (2015), também detectou a existência de potenciais citotóxicos e genotóxicos. Nas águas do rio Guandu, as alterações citotóxicas e genotóxicas observadas refletem o estado de contaminação dos afluentes e contribuintes do rio Guandu, e enfatizam a importância dos estudos de biomonitoramento para auxiliar os gestores no controle do lançamento de efluentes domésticos e industriais. Segundo os autores esses componentes exibem propriedades citotóxicas e/ou genotóxicas potentes, algumas das quais não podem ser degradadas durante o processo de tratamento e podem, portanto, tornar até mesmo a água tratada insegura para uso ou consumo humano.

4.4.4.3 Atividade estrogênica

O Projeto de Lei nº 4541/20, que na data atual está em tramitação no congresso brasileiro, determina que o Poder Executivo estabeleça limite de concentração de estrogênio em redes de água e esgoto. A proposição estabelece que o nível de concentração de estrogênio nas estações de tratamento de esgoto e na água potável para abastecimento público não ultrapasse o limite que causa danos à saúde e ao meio ambiente (BRASIL, 2020). Porém, ainda

não há estudos suficientes que comprovem o limite máximo da atividade estrogênica em corpos hídricos.

Segundo Dias *et al.* (2015), a atividade estrogênica das águas dos rios Paraíba do Sul e Guandu é uma questão de preocupação. Os autores analisaram a atividade estrogênica das águas do rio Paraíba do Sul (no município de Resende, Barra Mansa e Volta Redonda), do rio Guandu, próximo ao ponto de captação, e para água tratada, na saída da ETA Guandu, em amostras coletadas entre 2007 e 2008.

Dias *et al.* (2015), considerou em seu estudo o limite de 1 ngL, pois observou em estudos anteriores que o estrogênio nesta faixa produz efeitos adversos. Desta forma, os autores observaram que a atividade estrogênica aumentou ao longo do percurso do rio Paraíba do Sul, para amostras filtradas em membranas de 1.2µm, responsáveis por mais de 30% das amostras acima de 1 ngL⁻¹ equivalentes de 17β-estradiol (E-EQ), com valores máximos de 2,9, 4,8 e 16 ngL⁻¹ E-EQ. No caso do Rio Guandu, a incidência de amostras com atividade estrogênica superior a 1 ngL⁻¹ E-EQ foi de 8%. No entanto, apresentando valores máximos muito altos (15 ngL⁻¹ E-EQ). Na análise da água tratada, 25% das amostras apresentaram atividade superior a 1 ngL⁻¹ E-EQ.

Os resultados obtidos no estudo de Dias *et al.* (2015) demonstram que a contaminação da água por desreguladores endócrinos está ocorrendo em várias alocações ao longo dos rios Paraíba do Sul e Guandu. Além disso, segundo o autor a atividade estrogênica foi observada no sistema de abastecimento de água, indicando que as plantas de tratamento de água devem ser redefinidas para conseguir a remoção de produtos químicos desreguladores endócrinos.

4.4.4.4 Glifosato

Cristofaro *et al.* (2021), realizou a coleta de água em cinco reservatórios na Bacia do rio Guandu e um reservatório no Paraíba do Sul (Reservatório de Santa Branca), entre janeiro de 2013 e abril de 2014, com intuito de analisar o glifosato, um herbicida popularmente usado em todo o mundo, onde o autor considera-o como risco ambiental, podendo afetar a saúde humana, por problemas respiratórios.

O glifosato foi detectado em 100% das amostras nos reservatórios de Tocos, Vigário e Ponte Coberta. Enquanto que em Santa Branca foi em 50%, em Ribeirão das Lajes em 32% das amostras e em Santana 11% (CRISTOFARO *et al.*, 2021). Segundo os autores nos reservatórios de Vigário, Ribeirão das Lajes e Santa Branca, foram encontrados resultados superiores

(atingindo a marca de 0,1684 mg L⁻¹) a concentração de 0,065 mg L⁻¹, estipulado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como limite para águas das Classes 1 e 2.

O amplo uso do glifosato em diversas lavouras e em outras atividades agrícolas, como o controle de plantas daninhas em pastagens nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, pode explicar a presença frequente desse herbicida nos sistemas estudados. Com exceção do reservatório de Ribeirão das Lajes, todos os demais reservatórios estão sob influência de antigas áreas de fazendas de café que foram transformadas em pastagem ou plantação de eucaliptos no último século (CRISTOFARO *et al.*, 2021).

Segundo Cristofaro *et al.* (2021), há uma correlação positiva entre o glifosato e a turbidez, o que sugere uma relação indireta entre a chuva e o herbicida, sendo possível associar ao escoamento superficial do solo ao transporte de glifosato para o corpo hídrico.

4.4.4.5 Cafeína, Bisfenol-A, 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol, estrona, estriol e outros fármacos

Gonçalves (2012) analisou a ocorrência de poluentes emergentes em rios do estado do Rio de Janeiro. Com pontos de coleta no rio Guandu, no rio Paraíba do Sul e em outros rios do estado. Detectou cafeína em 100% das amostras e bisfenol A em 95,7%.

No estudo de Gonçalves (2012), foram coletadas amostras em 7 pontos na bacia do rio Guandu, todos a montante do ponto de captação da ETA Guandu, dois pontos no Ribeirão de Lajes, três pontos ao longo do rio Guandu, um ponto no rio Santana e um ponto na Lagoa do Guandu, próxima a desembocadura do rio Ipiranga (afluente com forte impacto de efluentes domésticos e industriais) no dia 21 de setembro de 2010. (Figura 51).

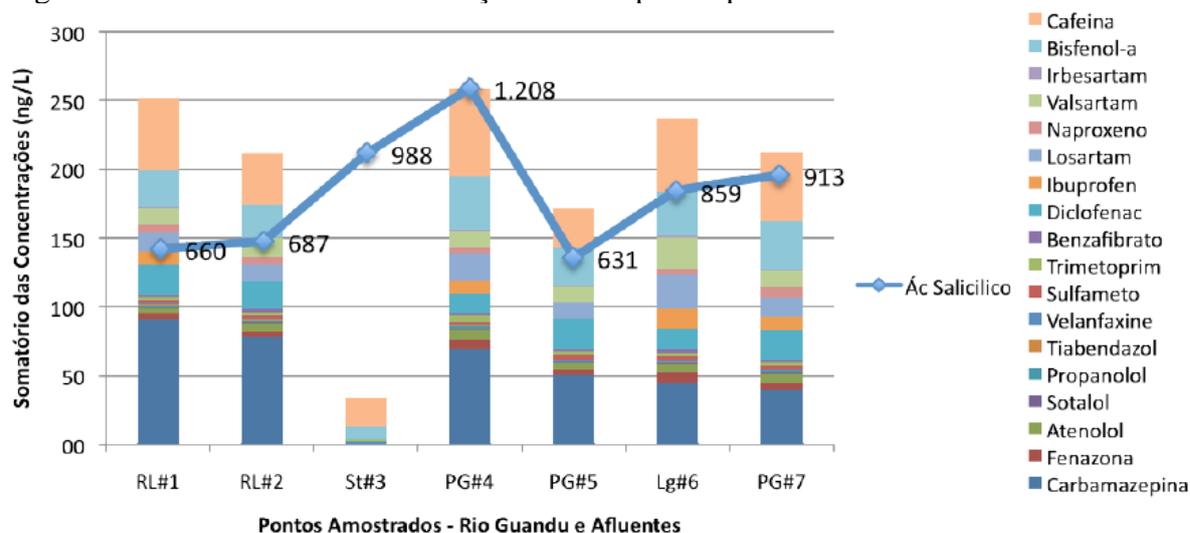
Figura 51 - Pontos de coleta na Bacia do rio Guandu e suas características

Pontos	Coordenadas	Descrição
RL#1	S 22°38'27,8" W 43°42'46,8"	Ribeirão de Lajes: À montante da confluência com o rio Santana, próximo ao Município de Paracambi. Neste ponto, o rio Guandu ainda é chamado de Ribeirão das Lajes.
RL#2	S 22°39'00" W 43°40'31,5"	Ribeirão de Lajes: À montante da confluência com o rio Santana, próximo ao Município de Japeri.
St#3	S 22°38'12,6" W 43°40'4,7"	Rio Santana: Pouco antes da confluência com o rio Ribeirão de Lajes, no município de Japeri.
PG#4	S 22°39'26,4" W 43°39'52"	Rio Guandu: À jusante da confluência com o Rio Santana, na divisa entre os municípios de Japeri e Seropédica.
PG#5	S 22°47'47,2" W 43°37'55"	Rio Guandu: Antes da divisão em dois braços, que antecede a captação de água da ETA Guandu, próximo a uma mineradora, no município de Seropédica
Lg#6	S 22°48'23,7" W 43°37'34,1"	Lagoa do Guandu/ Desembocadura do Rio Ipiranga: Formada por uma das barragens de captação de água da ETA Guandu, no braço esquerdo do rio Guandu, a Lagoa do Guandu recebe os efluentes impactados dos Rios Ipiranga e Queimados.
PG#7	S 22°48'30,8" W 43°37'36,2"	Rio Guandu: Pouco antes da barragem da ETA Guandu no braço esquerdo do rio Guandu.

Fonte: Gonçalves, 2012.

Na análise das águas do rio Guandu e afluentes realizada por Gonçalves (2012), apontaram a presença de 23 contaminantes emergentes dos 36 avaliados, dentre eles os resultados mais expressivos foram do ácido salicílico que apresentou concentrações elevadas variando de 630 a 1200 ng L⁻¹, a cafeína apresentou concentrações entre 20 e 60 ng L⁻¹ e carbamazepina, entre 1,4 e 91 ng L⁻¹ (Figura 52).

Figura 52 - Somatório das concentrações de compostos presentes no rio Guandu e afluentes



Fonte: Gonçalves, 2012.

Conforme os achados de Gonçalves (2012), a semelhança entre os níveis de contaminação por fármacos, cafeína e bisfenol A encontrados no ponto mais a montante na Bacia do rio Guandu (1299 g/dia) e no último ponto a jusante do Paraíba do Sul (1370 g/dia) pode indicar que a origem desses compostos na Bacia do Guandu seja a contribuição das águas transpostas do Paraíba do Sul.

Fernandes (2018), realizou entre agosto de 2016 e julho de 2017, 12 coletas em 5 pontos de amostragens diferentes, no rio Piraí, rio Paraíba do Sul, rio Guandu (em 2 pontos) e num posto de gasolina após a saída da ETA Guandu, a fim de analisar a água tratada, totalizando 48 amostras de água superficial e 12 de água tratada, com intuito de analisar 8 poluentes emergentes.

Dos 8 poluentes emergentes analisados por Fernandes (2018), 6 foram detectados na água superficial, os mais frequentes foram a cafeína, presente em 98% das amostras e bisfenol-A em 60%. Os hormônios femininos tiveram frequência de detecção menor, 17α -etinilestradiol e 17β -estradiol com 15%, estrona em 8% e estriol com 2%. Os hormônios progesterona e testosterona não foram detectadas (Figura 53).

Já na água tratada, foi detectado por Fernandes (2018) 5 poluentes. Os mais frequentes foram a cafeína, presente em 100% das amostras e bisfenol-A em 58%. Os hormônios femininos tiveram frequência de detecção menor, 17α -etinilestradiol e 17β -estradiol com 17%, e estrona em 8%. Os hormônios estriol, progesterona e testosterona não foram detectadas (Figura 53).

Figura 53 - Classificação dos compostos poluentes, Concentração Previsível Sem Efeito (PNEC) destes compostos encontrados na literatura, frequência de detecção e concentração analisados em água superficial e tratada, e coeficiente de risco de cada composto

Classe	Composto	Proteção da vida aquática	Água Tratada	Água superficial				
		PNEC (ng L ⁻¹)		Amostras	Frequência	Concentração (ng L ⁻¹) Média	Concentração (ng L ⁻¹) Máx.	Coeficiente de risco
Farmacêutico	Cafeína	5.200,00	-	48	98%	1.428,62	5.201,74	1,0
Hormônios	17 α -etimilestradiol	0,03	-	48	15%	175,04	201,59	7.381,1
	17 β -estradiol	0,40	3,8	48	15%	164,50	164,50	411,3
	Estrona	3,60	-	48	8%	145,26	145,26	40,3
	Estriol	60	-	48	2%	-	-	-
	Progesterona	-	333	48	0%	-	-	-
	Testosterona	20	11	48	0%	-	-	-
Compostos Industriais	Bisfenol A	0,80	-	48	60%	839,76	3.442,69	4.304,6

Classe	Composto	Proteção da vida aquática	Água Tratada	Água Tratada				
		PNEC (ng L ⁻¹)		Amostras	Frequência	Concentração (ng L ⁻¹) Média	Concentração (ng L ⁻¹) Máx.	Coeficiente de risco
Farmacêutico	Cafeína	5.200,00	-	12	100%	491,09	1.190,94	-
Hormônios	17 α -etimilestradiol	0,03	-	12	17%	221,43	221,43	-
	17 β -estradiol	0,40	3,8	12	27%	125,99	125,99	33,2
	Estrona	3,60	-	12	8%	-	-	-
	Estriol	60	-	12	0%	-	-	-
	Progesterona	-	333	12	0%	-	-	-
	Testosterona	20	11	12	0%	-	-	-
Compostos Industriais	Bisfenol A	0,80	-	12	58%	551,72	-	-

Fonte: Elaborado a partir de dados de Fernandes, 2018.

Os poluentes foram classificados por Fernandes (2018), em categorias de 1 a 6, a partir da relação das Máximas Concentrações Ambientais com a Concentração Previsível Sem Efeito (PNEC), encontrados na literatura, conforme projeto SOLUTIONS (Figura 54), desenvolvido pela União Europeia, que visa desenvolver ferramentas para a identificação, priorização e avaliação de contaminantes da água que podem representar riscos para os ecossistemas e para a saúde humana (BRACK *et al.*, 2015).

Figura 54 - Visão geral dos requisitos e ações necessárias para as seis categorias propostas pelo projeto SOLUCIONS

Categoria	Requerimento	Ação necessária
1	Os dados de toxicidade são suficientes e o nível de exposição observado indica um risco potencial	Incluir no programa de monitoramento
2	Avaliação abrangente de riscos e poucas observações no ambiente	Ampliar a triagem para informar sobre o risco
3	A avaliação de perigo baseia-se na toxicidade prevista e em mais de 20 locais com medições analíticas acima do Limite de Quantificação	Realizar uma avaliação rigorosa do efeito onde for necessário
4	Menor PNEC com base em dados experimentais ou previsões e principalmente medida abaixo do Limite de Quantificação	Melhorar o método analítico para compostos de risco potencial
5	O perigo baseia-se na toxicidade prevista e em poucas observações no ambiente	Realizar uma avaliação rigorosa de riscos e um teste de triagem
6	Dados de toxicidade são suficientes e a exposição observada não representa nenhum dano para o ecossistema e para a saúde humana	Reduzir os esforços de monitoramento para esses compostos.

Fonte: Fernandes, 2018

No caso dos compostos estudados por Fernandes (2018), a cafeína e o bisfenol-A foram enquadrados na categoria 3, ou seja, toxicidade prevista é alta e é detectado com frequência. Porém, requer estudos mais detalhados da toxicidade e seus efeitos para avaliar se devem ser incluídos em compostos de alta prioridade. Os hormônios 17α -etinilestradiol, 17β -estradiol, estriol e estrona foram enquadrados na categoria 5, sendo necessário uma avaliação rigorosa do efeito antes das conclusões finais.

Segundo Fernandes (2018), para cálculo do risco, as concentrações máximas quantificadas foram comparadas com PNEC mais restritivos de qualidade da água encontrados na literatura, para cada poluente.

Para proteção da vida aquática, o hormônio 17α -etinilestradiol possui maior coeficiente de risco, 7.381,1, seguido do composto industrial bisfenol-A, 4.304,6 (Figura 53). Na água tratada para consumo o hormônio 17β -estradiol foi encontrado em concentrações 33 vezes maior que o limite superior encontrado na literatura (FERNANDES, 2018).

4.4.4.6 Nonilfenol

De Araújo (2015), detectou a presença do nonilfenol nas águas do rio Guandu. Porém, em níveis abaixo do nível máximo dos contaminantes ($28\mu\text{gL}^{-1}$), de acordo com o Safe Drinking Water Act (Lei de Água Potável Segura), nos EUA (USEPA, 2021).

O nonilfenol etoxilado, é o tipo mais relevante de alquilfenol etoxilado, estes por sua vez são surfactantes não-iônicos amplamente utilizados em resinas fenólicas, aditivos plásticos, detergentes, emulsificantes, formulações de pesticidas dentre outras (DE ARAÚJO, 2015).

A Tabela 12 mostra os valores máximos permitidos de alguns desreguladores endócrinos, encontrados nas legislações no Brasil e nos Estados Unidos, para águas superficiais e de abastecimento assim como o valor de orientação fornecido pelo Guia de Qualidade de Água Potável da Organização Mundial da Saúde, encontrados na pesquisa de De Araújo (2015).

Tabela 12 - Concentrações máximas aceitáveis (μgL^{-1}) de desreguladores endócrinos em água potável (1) e água superficial (2) de acordo com as legislações nacionais e internacionais

Composto	Valores Máximos Permitidos (mg L^{-1})				
	Brasil		Estados Unidos		OMS
	1 ^a	2 ^b	1 ^c	2 ^d	1 ^e
Benzo[a]pireno	0,4	0,018 ^c	0,2	n.i. ^f	0,7
Nonilfenol	n.i.	n.i.	n.i.	28 ^g /07 ^h	n.i.
Pentaclorofenol	9	3	1	19 ^g /13 ^h	9
di(2-hexil)ftalato	8	n.i.	6	n.i.	8

a. Portaria MS 888/2021 (BRASIL, 2021).

b. Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

c. Lei de Água Potável Segura (SDWA, Safe Drinking Water Act) (USEPA, 2015b).

d. Recomendação Nacional dos Critérios de Qualidade da Água (USEPA, 2009).

e. Guia de Qualidade da Água Potável (WHO, 2008).

f. Valor não mencionado

g. Água doce

h. Água salgada

Fonte: Adaptado de De Araújo, 2015.

4.4.4.7 Dimetil ftalato (DMP), bis(2-etil-hexil) ftalato (DEHP), 4-octilfenol (4-OP) e 4-nonilfenol (4-NP)

Licurgo *et al.* (2016), estudou a presença do dimetil ftalato (DMP), bis(2-etil-hexil) ftalato (DEHP), 4-octilfenol (4-OP) e 4-nonilfenol (4-NP), em água superficial e potável provenientes do rio Guandu, substâncias estas classificadas como desreguladores endócrinos (DEs). No estudo de Licurgo *et al.* (2016), foram realizadas 6 coletas de amostras entre o

período de março a dezembro de 2015, a 150 m antes da captação, no município de Nova Iguaçu (Ponto 1), a 17,5 km antes da captação pela ETA, no município de Japeri (Ponto 2), e na torneira de um comércio localizado a 1 km da saída de água da ETA, após passar pelo tratamento convencional (Ponto 3).

Os resultados obtidos por Licurgo *et al.* (2016), mostram que o DMP esteve mais presente nos três pontos de amostragem, nas duas primeiras coletas, ambas em dias chuvosos, na faixa de concentração de 5.5 a 26.4 ng. L⁻¹. O DEHP esteve presente em concentrações superiores a 1000 ng. L⁻¹ em 50% das amostras de água superficial do rio Guandu, coletadas nos pontos 1 e 2, e em 40% das amostras de água potável. Essas altas concentrações foram encontradas nas coletas realizadas em dias de chuva. O 4-NP, foi detectado na faixa de 49.4 a 172.6 ng. L⁻¹, em dias de chuva, e de 57.4 a 65.5 ng. L⁻¹, em dias secos. O 4-OP não foi encontrado nas amostras.

O estudo de Licurgo *et al.* (2016), chama atenção para o 4-NP, por ser classificado como substância perigosa prioritária pela *European Community Water Framework Directive* e pela *Final European Union* (LICURGO *et al.*, 2016) e para o DEHP, que provavelmente por ser o plastificante mais utilizado atualmente e seu uso no Brasil não ser proibido. Esta foi a substância encontrada em maiores concentrações em todos os pontos de coleta. Essa altas concentrações nas águas do rio Guandu é preocupante, pois esse composto é tóxico para o sistema reprodutor e é considerado carcinogênico (LICURGO *et al.*, 2016).

4.4.4.8 Considerações acerca dos poluentes emergentes

No Brasil, o enquadramento e classificação dos corpos de águas doces, salobras ou salinas, regidos pela resolução nº 357/2005 é regido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2005). Já o controle e vigilância da qualidade da água para abastecimento da população, assim como os padrões de potabilidade, são definidos pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde de 2021 (BRASIL, 2021). Porém, não abrange a maioria dos poluentes emergentes encontrados nesta pesquisa.

É de suma importância o estudo, no Brasil, de uma legislação que regulamente a quantidade máxima aceitável de poluentes emergentes em águas superficiais e tratadas, de modo a contribuir para o entendimento dos níveis aceitáveis de contaminação de mananciais de abastecimento, como o rio Guandu, principal manancial de abastecimento público da cidade do Rio de Janeiro.

Assim, é urgente a necessidade de maior monitoramento dos serviços de saneamento, em particular do tratamento da água de abastecimento público, uma vez que a presença de poluentes, muitos dos quais não são possíveis de tratamento pelos métodos convencionais, representam alto risco para organismos em diferentes níveis tróficos, incluindo humanos.

Não foram identificadas ações de gestão para aumentar a segurança hídrica em relação a esses poluentes no rio Guandu. Alguns autores aqui estudados recomendam o uso de tecnologias adequadas para o tratamento de efluentes, em especial esgoto doméstico, para melhoria da qualidade dos mananciais de abastecimento, evitando assim a redefinição das plantas de tratamento de água para remoção de produtos químicos.

Segundo Soares e Souza (2020), as tecnologias de tratamento avançado – tais como ozonização, processos avançados de oxidação (POA), adsorção em carvão ativado, filtração, com membranas como microfiltração, ultrafiltração, nano filtração e osmose reversa – são mais eficientes para remover micro poluentes. No entanto, segundo os autores, tais técnicas de tratamento são mais onerosas, quando comparadas ao método convencional de tratamento. Segundo Varsha *et al.* (2022) a técnica de absorção por biomassa pode ser utilizada para remediação com baixo custo para a maioria dos poluentes emergentes.

As técnicas de tratamento com lodo ativado, carvão ativado, biorreatores de membrana e tratamento baseado em microrganismos removeram com sucesso contaminantes emergentes como desreguladores endócrinos, pesticidas, analgésicos, antibióticos, produtos farmacêuticos, dentre outros (KUMAR *et al.*, 2022).

Segundo Cavazos Juárez (2021) e Scaria *et al.* (2022), os materiais carbonáceos são excelentes candidatos para a remoção de contaminantes emergentes, dentre eles o carvão ativado obtido da biomassa que é uma ótima alternativa e a mais sustentável. Entre os vários materiais de carbono, o biochar é o material mais amplamente estudado para a remoção adsortiva de todas as classes de contaminantes emergentes, principalmente para a remoção de compostos farmacêuticos (SCARIA *et al.*, 2022).

4.5 Síntese dos estressores “condições ambientais e qualidade da água” e análise de risco

4.5.1 Síntese dos estressores

O Quadro 9 apresenta a visão geral da situação dos estressores estudados na região de estudo (uso e cobertura da terra, degradação de APP, processos erosivos, acidentes ambientais e carga poluidora), onde é possível ver em detalhe a ocorrência de cada estressor e a severidade dos seus impactos, influenciando no comprometimento da qualidade da água bruta; este último pode ser visualizado no Quadro 10, adiante.

Quadro 9 - Síntese dos resultados dos estressores na região de estudo

Estressor		Indicadores		Valor	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Condições ambientais	Uso e cobertura da terra	Perda de cobertura florestal na bacia do PdS		● +2,17%	● Baixa	● Baixa
		Percentual de cobertura florestal na bacia do PdS		● 36,30%	● Média	● Média
		Perda de cobertura florestal na bacia do Guandu		● -3,70%	● Alta	● Alta
		Percentual de cobertura florestal na bacia do Guandu		● 45,74%	● Baixa	● Baixa
		Percentual de cobertura florestal próximo a captação ETA Guandu	UHP 6	● 22,70%	● Média	● Média
			UHP 7	● 6,40%	● Alta	● Alta
	Degradação de APP	Percentual de APP hídrica conservada (Bacia Guandu)		● 25,00%	● Alta	● Alta
	Processos Erosivos	Sedimentos exportado para rede de drenagem		128/152 mil ton/ano	● Média	● Média
		Sedimentos retidos na bacia do rio Guandu		60%	● Média	● Média
	Acidentes Ambientais	Registro histórico de acidentes com produtos perigoso na região		● 175	● Alta	● Baixa
Paralisação da ETA por contaminação		● 4	● Baixa	● Alta		
Elementos de alto risco presentes nas bacias		● 21	● Média	● Alta		
Carga poluidora (Bacia do rio Guandu)	Índice de coleta de esgoto		● 49,58%	● Alta	● Alta	
	Índice de tratamento de esgoto		● 23,45%	● Alta	● Alta	
	Taxa de resíduos sólido coletado		● 97,78%	● Baixa	● Baixa	
	Carga orgânica doméstica lançada/gerada	72.720/ 76.568	● 94,97%	● Alta	● Alta	

Fonte: Autor, 2022.

Em relação ao indicador de perda de cobertura florestal, adotou-se uma classificação qualitativa da severidade do impacto, caracterizando se houve (ou não) um processo contínuo de perda de cobertura florestal e taxas perceptíveis de desmatamento nas últimas quatro décadas. Para este indicador, considerou-se a variação da classe de formação florestal e floresta plantada, observada no período de análise (1985 a 2020).

Quanto à classificação do grau de severidade do indicador “processos erosivos”, foi possível identificar, de forma quantitativa, os sedimentos exportados para a rede de drenagem do rio Guandu e dos sedimentos retidos nos reservatórios da Bacia do rio Guandu, além da análise de dois parâmetros do IQA (sólidos suspensos e turbidez).

Em relação aos indicadores relacionados à carga poluidora, adotou-se os mesmos valores de referência adotado por Ikemoto (2020) com base no CRHi (2010) para análise dos índices de coleta e tratamento de esgoto e de resíduos domiciliares. Para carga orgânica foi considerado a variação entre a carga orgânica lançada e gerada.

Passando agora para a análise do **comprometimento da qualidade da água**, o Quadro 10 apresenta a síntese dos resultados para a Bacia do rio Guandu, em geral, inclusive no ponto de captação da ETA Guandu (GN200), além de indicar o percentual de desconformidade do enquadramento.

Quadro 10 - Comprometimento da qualidade da água na Bacia do rio Guandu e no ponto de captação da ETA Guandu (GN200)

Caract. Mensurável		Indicadores	Valor	Ocorrência	Severidade	
Comprometimento da qualidade da água	Qualidade da água (IQA)	IQA Médio (2012-2021)	SC200	● 59,70	● Média	● Alta
			LG350	● 72,77		
			LG351	● 71,01		
			MC410	● 37,00		
			SN331	● 59,51		
			GN201	● 67,43		
			SP310	● 68,10		
			PO290	● 32,35		
			QM271	● 21,17		
			IR251	26,00		
	GN200	● 63,63				
	Percentual do total amostras em desconformidade com enquadramento (2012-2021)	Coliformes	● 81,60%	● Alta	● Alta	
		Fósforo Total	● 38,60%			
		pH	● 5,10%			
		Turbidez	● 2,10%			
		OD	● 1,00%			
		DBO	● 1,00%			
Nitrato		● 0,00%				
SDT	● 0,00%					

Caract. Mensurável		Indicadores	Valor	Ocorrência	Severidade
	Poluentes emergentes	Registro e estudos disponíveis	-	● Média	-

Fonte: Autor, 2022.

Para os poluentes emergentes encontrados no estudo, apesar da ocorrência elevada e de variada classificação, não foi possível determinar a severidade deste indicador de forma quantitativa. Encontramos poucos estudos sobre os efeitos crônicos à saúde humana e da exposição à diferentes compostos para se afirmar que os níveis são seguros.

Para análise da média do IQA, adotou-se os valores de referência propostos pelo INEA (2022a). Em relação à violação do enquadramento, considerou-se como de baixa severidade a ausência de amostras com valores superiores ao limite de enquadramento e, como de alta severidade, a existência de amostras com violação dos limites.

4.5.2 Risco final para qualidade da água no ponto de captação do sistema Guandu

O **risco final estimado** para a qualidade da água no ponto de captação do sistema Guandu foi considerado:

- inaceitável quanto aos estressores “Carga poluidora”, “Degradação de APP” e “Acidentes Ambientais; e
- tolerável em relação aos estressores “Uso e cobertura da terra” e “Processos erosivos” na Bacia do rio Guandu.

A Figura 55 reúne os resultados globais de cada estressor considerado no estudo.

Figura 55 - Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores relacionados à pressão sobre as condições ambientais da bacia

		Severidade e adaptação ao impacto do estressor		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta			"Carga poluidora" e "Degradação de APP"
	Média		"Uso e cobertura da terra" e "Processos Erosivos"	"Acidentes Ambientais"
	Baixa			

Muito Alto (inaceitável)
 Alto (inaceitável)
 Médio (tolerável)
 Baixo (aceitável)

Fonte: Autor, 2022.

Neste estudo o resultado da avaliação qualitativa do nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Guandu foi considerado como baixo, em concordância com ANA (2021). Porém, neste trabalho foram utilizados mais indicadores em comparação com os dados da ANA

(2021), a fim de ter um melhor detalhamento das condições ambientais da bacia e a qualidade da água. Apontando a necessidade de ações urgentes de gestão para redução do risco dos estressores “Carga poluidora” e “Degradação de APP hídrica”, que apresentam níveis inaceitáveis, impactando diretamente a ETA e ocasionalmente o consumidor final; além de ações de gestão para redução do risco potencial do estressor “Acidentes Ambientais”. Em sequência, a necessidade de ações de gestão para redução do risco aos estressores “Processos erosivos” e “Uso e cobertura da terra” para níveis aceitáveis.

Em relação ao sistema de abastecimento de água, o sistema de tratamento da ETA Guandu pode ser potencialmente mais vulnerável aos impactos dos estressores selecionados, podendo ter, como consequência:

- Aumento no custo de tratamento de água, decorrentes da piora da qualidade da água;
- Aumento dos custos de manutenção do sistema de tratamento de água, como gastos relacionados ao desassoreamento dos corpos hídricos e das infraestruturas hídricas;
- Interrupção ou redução da capacidade de produção de água, decorrentes da piora da qualidade da água, o que pode comprometer o faturamento da prestadora, a qualidade dos serviços de abastecimento e o acesso a água pela população.

Importa ressaltar que está sendo feita uma ampliação do Sistema produtor, através da construção de uma nova ETA (Novo Guandu), que ofertará uma vazão adicional de 12 m³/s para aumentar a segurança hídrica do oeste metropolitano do Rio de Janeiro (ANA, 2021). O ponto de captação do Novo Guandu será o mesmo da ETA Guandu atual, o que significa que os problemas de qualidade dos recursos hídricos serão os mesmos para ambas as Estações. No entanto, a CEDAE (2022d) indica a utilização de tecnologias mais modernas no tratamento da água para o Novo Guandu, o que em tese diminui a vulnerabilidade dessa nova planta em relação à qualidade de recursos hídricos, quando comparada à vulnerabilidade da ETA Guandu, para a qual não há indicação de melhorias no sistema de tratamento.

4.5.3 Comparação deste estudo com a classificação de segurança hídrica da ANA (2021) para a Bacia do rio Guandu

O Índice de segurança hídrica da ANA (2021) é bem amplo e contempla indicadores que avaliam a segurança hídrica de ponta a ponta, incluindo desde o manancial de abastecimento até características centrais do serviço urbano de água tais como cobertura, distribuição e perda na distribuição. No estudo do Sistema Guandu, o manancial de

abastecimento foi classificado como de média vulnerabilidade, com eficiência mínima de produção de água, devido principalmente à dependência do oeste metropolitano da RMRJ do rio Paraíba do Sul; o grau de atendimento à demanda do manancial foi classificado como muito insatisfatório, havendo necessidade de ampliação do sistema.

No quesito “qualidade de água”, para comparar com este estudo de mestrado, observa-se, em primeiro lugar, que os critérios adotados são quase completamente diferentes: a ANA engloba os indicadores “barragem de rejeitos” (a montante do ponto de captação) e “DBO”, enquanto adotamos DBO, Fósforo Total, Nitrato, OD, pH, Turbidez, Coliformes Termotolerante, SDT e poluentes emergentes (item 4.4).

No entanto, o que importa aqui evidenciar é que, mesmo com critérios distintos, ambos os estudos (ANA, 2021 e esta dissertação) chegam a resultados semelhantes: a ANA classifica como vulnerável a qualidade do manancial de abastecimento da ETA Guandu, enquanto concluímos como sendo alto o risco à segurança da qualidade dos recursos hídricos no ponto de captação da ETA Guandu.

Finalmente, importa notar uma diferença importante em termos de resultados específicos à DBO. Observamos que o cálculo da ANA (2021) considera o pior valor de uma escala variando de 1 a 5 (sendo 1 o pior valor e 5 o melhor), considerando, portanto, o manancial como vulnerável. Porém, neste estudo de mestrado, pode ser observado que das 101 amostras de DBO no ponto de captação, entre 2012 e 2021, apenas uma amostra teve resultado acima do limite superior. Dessa forma, não foi possível identificar os critérios de classificação utilizado pela ANA (2021) para alcançar esse resultado de qualidade, exceto se tiver sido baseado na qualidade dos afluentes do rio Guandu ao invés do ponto imediatamente a montante da captação.

CONCLUSÃO

Esta dissertação teve por objetivo geral avaliar o nível atual da segurança hídrica da água bruta da ETA Guandu e do abastecimento da RMRJ perante estressores relacionados às condições ambientais dos mananciais e à qualidade da água no ponto de captação. Por meio da adaptação e da aplicação de um modelo analítico, buscou-se dar subsídios ao processo de gestão das águas da área de influência da ETA Guandu, ao ressaltar, de forma sistêmica e integrada as principais questões que envolvem a sua segurança hídrica, em termos de qualidade de água, que deveriam ser prioritárias para as políticas públicas e ações de gestão na área dos mananciais de abastecimento.

Nesse universo, os problemas relacionados à Lagoa do Guandu constituem, de longe, o mais grave, não somente pela poluição crônica que tem se agravado ao longo das décadas, mas sobretudo pela intensa poluição aguda que provocou crises hídricas recentes, no verão dos anos de 2020 e 2021. Observou-se, também, as dificuldades com que as autoridades lidam com esse problema, já que propostas de solução se sucedem ao longo dos anos e levantam muitas dúvidas e polêmicas: há defensores de soluções que desviariam os poluídos rios Poços, Queimados e Ipiranga da Lagoa do Guandu até o saneamento dessas sub-bacias hidrográficas, passando por soluções igualmente polêmicas como a construção de UTRs. Até hoje, ainda não há uma proposta de solução que tenha sido levada adiante na sua implementação, ressaltando que a solução definitiva seria o saneamento da área montante da Lagoa, inclusive de fontes da poluição industrial remanescente.

Essa constatação é coerente com resultados da aplicação do modelo que indicam, de um lado, que a Bacia hidrográfica do rio Guandu se encontra fortemente vulnerável e acima dos limites críticos para o estressor “carga poluidora” e de outro, apesar de não ser possível mensurar o grau de severidade dos poluentes emergentes pelo método utilizado, trata-se de um problema potencialmente grave que a gestão de recursos hídricos, os serviços de água e as autoridades de saúde pública devem dar a devida atenção. Ademais os poluentes advindos de acidentes ambientais, são um ponto importante de atenção na gestão da bacia, pois os impactos podem ser desastrosos.

Por fim, importa novamente ressaltar a convergência e a complementaridade deste estudo com os resultados do estudo Atlas Águas (ANA, 2021). Com metodologias e escopos

distintos, ambos concluíram ser baixo o nível de segurança hídrica da ETA Guandu. Nesse sentido, a avaliação feita no escopo desta dissertação de mestrado é um complemento ao estudo do Sistema Guandu pelo Atlas Águas, na sua parte dedicada à qualidade da água, por compreender mais indicadores de análise.

Quanto à metodologia de análise, consideramos ser uma ferramenta útil para avaliar a evolução da situação dos diferentes estressores/indicadores de qualidade de água nas bacias drenantes à ETA Guandu, ao longo do tempo.

Durante a realização deste trabalho foram encontradas algumas limitações do modelo analítico adotado neste trabalho, sobretudo: necessidade de maior clareza na distinção entre ‘ocorrência do estressor’ e ‘severidade do impacto’, para a maioria dos indicadores, tendo sido observado o mesmo problema em trabalhos anteriores do Grupo de Pesquisa que utilizaram/aprimoraram o mesmo modelo; e dificuldade na mensuração dos “processos erosivos” para o caso específico da ETA Guandu, em função do número limitado de estudos disponíveis sobre a quantidade de sedimentos exportados para a bacia de drenagem e seus impactos sobre a ETA.

Para futuros estudos do grupo de pesquisa, sugere-se ampliar as referências quanto ao modelo analítico de avaliação da segurança de recursos hídricos, com o intuito de minimizar ou resolver as limitações observadas e também situar o método proposto em relação ao estado da arte sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

2030 WRG. Charting our water future: Economic frameworks to inform decision-making. Washington DC (USA), 2009.

AGEVAP; VALLENGE. Plano municipal de saneamento básico Engenheiro Paulo de Frontin- RJ. Rio de Janeiro, 2015.

ALVEZ, R. G1 apresenta a notícia: Com “Sommelier de água” e novas tecnologias, CEDAE diz ter eliminado problema da geosmina. Rio de Janeiro, 27 nov. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2022/11/27/com-sommelier-de-agua-e-novas-tecnologias-cedae-diz-ter-eliminado-problema-da-geosmina.ghtml>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ANA. *Atlas Águas*. Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano. Brasília, DF: ANA, 2021.

ANA. Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. *In*: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2015, 31p.

ANA. Apresenta informações sobre: Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). Brasília, 2022. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 11 out. 2022.

ANA. *Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas*. Brasília, 2019, 112p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

ANTT. *Resolução nº 420*, aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Agência Nacional de Transportes Terrestres, Brasília, 2004.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V., FAHRIG, L., WATLING, J.I., NOWAKOWSKI, J., TABARELLI, M., TISCHENDORF, L. *et al.* *Preserving 40% forest cover is a valuable and well-supported conservation guideline: reply to Banks-Leite et al (2021)*. *Ecology Letters*, 24: 1114–1116, 2021.

BANKS-LEITE, C., PARDINI, R., TAMBOSI, L. R., PEARSE, W. D., BUENO, A. A., BRUSCAGIN, R. T., ... & METZGER, J. P. *Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot*. *Science*, 345(6200), 1041-1045, 2014.

BANKS-LEITE, C., LARROSA, C., CARRASCO, L. R., TAMBOSI, L. R. and MILNER-GULLAND, E. J. *The suggestion that landscapes should contain 40% of forest cover lacks evidence and is problematic*. Ecology Letters 24: 1112–1113, 2021.

BARBIERI, R. F.; OZMENT, S.; HAMEL, P.; GRAY, E.; MANSUR, H. L.; VALENTE, T. P.; RIBEIRO, J. B.; MATSUMOTO, M. M. *Infraestrutura Natural para Água no Sistema Guandu, Rio de Janeiro*. WRI Brasil. p. 30, 2018.

BRACK, W., ALTENBURGER, R., SCGUURMANN, G., KRAUSS, M., LOPEZ HERRÁEZ, D., VAN GILS, J., ... UMBUZEIRO, G. A. The SOLUTIONS Project: Challenges and responses for present and future emerging pollutants in land and water resource management. *Science of the Total Environment*, p. 503-504, 22-31, 2015.

BRAGA, B. e KELMAN, J. Facing the challenge of extreme climate: the case of Metropolitan São Paulo, *Water Policy*, n. 18, p. 52-69, 2016.

BRASIL. *Lei nº 12.651*, de 15 maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 mai. 2012.

BRASIL. *Lei nº 9.433*, de 8 jan. 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 jan. 1997. p. 470.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília. 112 p. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888*, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] União: n. 85, p. 127-127, 2021.

BRASIL. Câmara dos Deputados. *Projeto de Lei nº 4521*, de 11 setembro de 2020. Dispõe sobre o controle da concentração de estrogênio nos efluentes das estações de tratamento de esgoto e na água de abastecimento público. Brasília: Câmara dos Deputados, 2020.

Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2262801> Acesso em: 24 ago. 2022.

BRITTO, A. L.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; CARNEIRO, P. R. F. *Abastecimento público e escassez hidrossocial na Metrópole do Rio de Janeiro*. Ambiente & Sociedade, v. 19, n. 1, p. 183-206, 2016.

CALCAGNO, V. Não basta o vírus - Prestes a ser privatizada, a Cedae volta a oferecer água "podre". *Revista Carta Capital*, p.34-35, 2021.

CAVAZOS JUÁREZ, G. *Adsorción multicomponente de contaminantes emergentes sobre carbón activado obtenido a partir de residuos agro-industriales*. Dissertação de Mestrado. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, 2021.

CBH GUANDU. Relatório final. *Plano de contingência para abastecimento de água (Guandu)*. Londrina: DRZ Gestão e Consultoria, 2015.

CBH GUANDU. SIGA WEB GUANDU, 2022. Disponível em:
<<https://sigaaguas.org.br/sigaweb/apps/guandu/>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CBH GUANDU e PROFILL. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. *Relatório Gerencial*. Rio de Janeiro: Comitê Guandu e Profill Engenharia e Ambiente, 2018.

CBH GUANDU. Apresenta a notícia: Produtores de Rio Claro vão receber quase 400 mil reais em Pagamentos Por serviços Ambientais. Rio de Janeiro, 27 set. 2021. Disponível em:<[CBH GUANDU; PROFILL e TSA. Saneamento rural: Levantamento de dados geoespaciais e elaboração do diagnóstico, da hierarquização e dos projetos básicos/executivos de esgotamento sanitário das áreas rurais e periurbanas dos municípios da Região Hidrográfica II – Guandu. Produto 1. Levantamento de dados geoespaciais. Revisão 02. 2019.](https://comiteguandu.org.br/2021/09/27/comite-guandu-rj-inicia-campanha-de-conscientizacao-contraincendios-florestais/#:~:text=Galeria-Produtores%20de%20Rio%20Claro%20v%C3%A3o%20receber%20quase%20400,em%20Pagamentos%20Por%20servi%C3%A7os%20Ambientais&text=Cinquenta%20e%20oito%20produtores%20rurais,em%20pagamento%20por%20servi%C3%A7os%20ambientais.>. Acesso em: 02 nov. 2022.</p></div><div data-bbox=)

CBH MÉDIO PARAÍBA DO SUL e PROFILL. Complementação e finalização do plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul- PIRH-PS e elaboração dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas afluentes. Produto Final 05. Plano de bacia da região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. 2021.

CEDAE. Apresenta a notícia: CEDAE planta 1 milhão de árvores às margens do Guandu. Rio de Janeiro, 22 set. 2021a. Disponível em: <<https://cedae.com.br/noticias/detalhe/cedae-planta-1-milhao-de-arvores-as-margens-do-guandu/id/1068>>. Acesso em: 02 out. 2022.

CEDAE. Apresenta a notícia: Fortes chuvas reduzem produção de água na ETA Guandu. Rio de Janeiro, 2022c. Disponível em: <<https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/fortes-chuvas-reduzem-producao-de-agua-na-eta-guandu/id/1203>>. Acesso em 13 out. 2022.

CEDAE. Apresenta informações sobre: Qualidade da Água. Relatórios Guandu, 2020a. Disponível em: <<https://cedae.com.br/relatoriosguandu>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CEDAE. Apresenta informações sobre: Qualidade da Água. Relatórios Guandu, 2021b. Disponível em: <<https://cedae.com.br/relatoriosguandu>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CEDAE. Apresenta informações sobre: Relatórios Anuais. Rio de Janeiro, 2021c. Disponível em: <<https://cedae.com.br/relatorioanual>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CEDAE. Apresenta informações sobre: Sistema Guandu. Rio de Janeiro, 2022b. Disponível em: <<https://cedae.com.br/sistemaguandu>>. Acesso em: 05 out. 2022.

CEDAE. Apresenta informações sobre: Novo Guandu. Rio de Janeiro, 2022d. Disponível em: <<https://cedae.com.br/novoguandu>>. Acesso em: 05 out. 2022.

CEDAE. Apresenta a notícia: CEDAE retoma produção na ETA Guandu. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: <<https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/cedae-retoma-producao-na-eta-guandu/id/408>>. Acesso em 13 out. 2022.

CEDAE. Folheto Institucional Guandu. Rio de Janeiro, 2022e. Disponível em: <https://cedae.com.br/PORTALS/0/FOLHETO_INSTITUCIONAL_GUANDU.PDF>. Acesso em: 13 out. 2022.

CEDAE. Livreto Guandu. Rio de Janeiro, 2022a. Disponível em: <https://www.cedae.com.br/portals/0/livreto_guandu.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CEDAE. Obras de proteção da tomada d'água da CEDAE no rio Guandu. Relatório de Impacto Ambiental, Rio de Janeiro, 2010.

CEIVAP. *Relatório Situação 2020*. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/conteudo/relsituacao2020.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2022.

COELHO, F., DE AZEVEDO, J. P. S., JÚNIOR, I., COMITÊ GUANDU, & COMITÊ GUANDU. *Análise multicritério de propostas para a melhoria da qualidade da água captada para abastecimento da Região Metropolitana oeste do Rio de Janeiro*. In: Bacia hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: experiências para a gestão dos recursos hídricos. Rio de Janeiro: INEA, 61-77, 2012.

COELHO, H. Apresenta a notícia: Mais da metade das estações de tratamento de esgoto na bacia do Rio Guandu está com problemas ou sem funcionar. G1 22 jan. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/01/22/56percent-das-estacoes-de-tratamento-de-egoto-na-bacia-do-rio-guandu-estao-com-problemas-ou-sem-funcionar.ghhtml>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA n^o 357/2005, de 17 mar. 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

CRISTOFARO, C.S.; BRANCO, C.W.; ROCHA, M.I.; PORTUGAL, S.G. *Assessing glyphosate concentrations in six reservoirs of Paraíba do Sul and Guandu River Basins in southeast Brazil*. Revista Ambiente & Água. Vol. 16, 2021.

DE ARAUJO, F.G. *Determinação de nonilfenol em águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Guandu por cromatografia líquida de alta eficiência com detecção em ultravioleta*. Dissertação (mestrado em Química) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, 2015.

DE NYS, E., ENGLE, N. AND MAGALHÃES, A.R. (2016). Drought in Brazil: Proactive Management and Policy. Boca Raton, USA: CRC Press, p. 230, 2016.

DE SOUZA, J. A. *Contaminação de corpos hídricos urbanos por efluentes domésticos e impactos à biodiversidade*. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, v. 2, n. 2, p. 44-44, 2021.

DIAS, A. C.; GOMES, F. W.; BILA, D. M.; SANT'ANNA, G. L.; DEZOTTI, M. Analysis of estrogenic activity in environmental waters in Rio de Janeiro state (Brazil) using the yeast estrogen screen. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 120, p. 41-47, 2015.

DU, X., JIAN, J., DU, C., & STEWART, R. D. *Conservation management decreases surface runoff and soil erosion*. International soil and water conservation research, v. 10, n. 2, p. 188-196, 2022.

EBABU, K., TSUNEKAWA, A., HAREGEWEYN, N., TSUBO, M., ADGO, E., FENTA, A. A., ... & POESEN, J. *Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation*. International Soil and Water Conservation Research, 10(2), 161-176, 2022.

EMBRAPA. Diagnóstico e alternativas para a recuperação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu (BHRG) – RJ. ISSN 1517-1981, 2010.

FCA - FERROVIÁRIA CENTRO-ATLANTICO. Apresenta a informação: Raio X da FCA: Produtos Transportados: 2021. Disponível em: <<https://www.fcatransforma.com.br/#raio-x-da-fca>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

FERREIRA, W.A. *Avaliação preliminar de indicadores de qualidade de água da bacia hidrográfica formadora do rio Guandu*. Dissertação (mestrado em Química Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, 2007.

FERNANDES, J. G. *Ocorrência de poluentes emergentes nos Rios Piraí, Paraíba do Sul, Guandu e na água de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

FORMIGA-JOHNSSON, R.; MELO, M. *Modelo conceitual e metodológico para análise qualitativa da segurança hídrica no abastecimento público de áreas urbanas*. Relatório final do Grupo de Pesquisa “Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais”. Rio de Janeiro, 2016.

FORMIGA-JOHNSSON. *Segurança hídrica da MetrÓpole do Rio de Janeiro face a estressores climáticos e não-climáticos*. Projeto de Pesquisa – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, 2020.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; BRITTO, A. L. Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-21, 2020.

FORMIGA-JOHNSSON, R.M.; LEMOS, M.C; e SOUZA FILHO, F.A. “*Segurança hídrica e capacidade adaptativa urbana e metropolitana em tempos de mudanças climáticas*”. In: Philippi Jr., A. e Sobral, M.C. (Orgs.), *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. São Paulo: Minha Editora, 2019.

GOMES, J. V.; TEIXEIRA, J. T.; LIMA, V. M.; BORDA, H. R. Induction of cytotoxic and genotoxic effects of Guandu River waters in the *Allium cepa* system. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, p. 48-58, 2015.

GONÇALVES, E. S. *Ocorrência e distribuição de fármacos, cafeína e bisfenol-a em alguns corpos hídricos no estado do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2012.

GOULART, G. Água sob suspeita: Casos de diarreia, gastroenterite e vômito mais que dobram em UPAS da Zona Oeste. *Jornal O Globo*, Rio de Janeiro, 8 jan. 2020. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/agua-sob-suspeita-casos-de-diarreia-gastroenterite-vomito-mais-que-dobram-em-upas-da-zona-oeste-1-24176922>>. Acesso em: 16 set. 2021.

IKEMOTO, S. M. *Modelo analítico de segurança hídrica a partir de soluções baseadas na natureza: aplicação na bacia do rio Guapi-Macacu, RJ*. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

INEA. *Atlas dos mananciais de abastecimento público do estado do Rio de Janeiro*. Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/wpcontent/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Riode-Janeiro.pdf. Acesso em: 08 set. 2022.

INEA, *Diagnóstico dos acidentes ambientais no Estado do Rio de Janeiro, 1983-2016: enfoque no transporte rodoviário de produtos perigosos*. Rio de Janeiro, 2018b. 136p. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wpcontent/uploads/2019/01/Diagn%C3%B3stico-dos-Acidentes-Ambientais-no-Estado-do-Riode-Janeiro-1983-2016.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

INEA. *Índice de Qualidade da Água (IQA)*. Rio de Janeiro, 2022b. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/IQA-NSF-Metodologia-Qualidade-de-%C3%81gua.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INEA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: *Relatório Gerencial*. Rio de Janeiro, 2014.

INEA. Apresenta informações sobre: Sistema de abastecimento público de água. Rio de Janeiro, 2022a. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/sistemas-de-abastecimento/guandu-lajes-acari/>>. Acesso em: 02 out. 2022.

INEA. Apresenta informações sobre: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de qualidade das águas - Águas interiores. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Esta%C3%A7%C3%B5es-de-Monitoramento-Atualiza%C3%A7%C3%A3o-JAN2019-%C3%81guasInteriores.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2022.

INEA. *Qualidade das Águas por Região Hidrográfica (RHs)*. Rio de Janeiro, 2022c.

Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/>>. Acesso em: 24 set. 2022.

IVEY, J. L. *et al.* An institutional perspective on local capacity for source water protection. [S.l.]: Geoforum, v. 37, n. 6, p. 944–957, 2006.

TRATA BRASIL. Apresenta a notícia: Estudos ITB: conheça algumas doenças causadas pela falta de saneamento básico. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em:

<<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2018/02/27/doencas-falta-de-saneamento-basico/>>.

Acesso em: 20 jun. 2021.

JORDÃO, M. D. *Influência da transposição de bacias do Paraíba do Sul-Piraí-Guandu na descarga de sólidos suspensos para a Baía de Sepetiba*. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2017.

KLIGERMAN, D. C.; SANCANARI, S. N.; NOGUEIRA, J. M. *Caminhos para viabilização da convergência de interesses na despoluição do Rio Guandu, Rio de Janeiro, Brasil*. Cad. Saúde Pública 2021. doi: 10.1590/0102-311X00234420. Rio de Janeiro, 2021.

KUMAR, R., QURESHI, M., VISHWAKARMA, D. K., AL-ANSARI, N., KURIQI, A., ELBELTAGI, A., SARASWAT, A. *A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies*, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. v. 6, 2022, 100219, ISSN 2666-0164.

LEMONS, M. C.; PUGA, B. P.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; SEIGERMAN, C. K.. Building on Adaptive Capacity to Extreme Events in Brazil: water reform, participation and climate information across four river basins. *Regional Environmental Change*, v. 20, p. 1-13, 2020.

LICURGO, F. M., DA SILVA, A. A., & BILA, D. M. Avaliação de contaminantes emergentes no rio Guandu, estado do Rio de Janeiro (Brasil). *In: XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Santa Catarina, 2016. Anais: IV-091. Rio de Janeiro: UERJ, 2016.

NAGABHATLA *et al.* *Forests as nature-based solutions for ensuring urban water security*. Roma: Unasylva, v. 69, n. 250, p. 43-52, 2018. *FAO's journal of forestry and forest industries*.

MAPBIOMAS. Apresenta informações sobre: Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2020. Disponível em:

<<https://mapbiomas.org/download>>. Acesso em: 4 nov. 2022.

MARTINS, A. S., CARVAJAL, E., SANTOS, J. A., MOURA, P. G., HANDAM, N. B., KOTOWSKI-FILHO, N. P., JARDIM, R. *Eventos atrelados a Geosmina e 2-metilisoborneol (2-MIB) em Manancial de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: estudo de caso*. Rio de Janeiro, 2021.

MELO, M. C. *Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*. Porto Alegre: Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002. Disponível em: <http://taquari.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*. Volume 2: estratégias setoriais e temáticas. Brasília, 2016.

MRS. *Relatório Anual 2021*. Disponível em: <https://ri.mrs.com.br/informacoes-financeiras/relatorios-aneais/>. Acessado em: 23 set. 2022.

NOGUEIRA, M. *Variabilidade climática, disponibilidade hídrica e ETA Guandu: Uma análise qualitativa de vulnerabilidade*. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental). UERJ, Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, T. G.; FRANCISCO, C. N.; BOHRER, C. B. A. *Áreas de Preservação Permanente (APP) no topo de morros no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dispositivos legais em diferentes unidades geomorfológicas*. Ci. Fl., Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 491-514, jan./mar. 2021

PLUMMER, R. *et al.* The development of new environmental policies and processes in response to a crisis: the case of the multiple barrier approach for safe drinking water. *In: Environmental Science & Policy* 13. Toronto, CA, Elsevier, v. 13, n. 6, p. 535-548. 20 jun. 2010.

PNMC. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Volume 2: estratégias setoriais e temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2016.

REIMANN, M. M. *et al.* *Biomonitoramento indica poluição do rio guandu por compostos cancerígenos.* AS&T. Volume 1, nº 2, dez. 2013.

REGUEIRA, CHICO. Cheiro e gosto ruins na água do RJ não foram por geosmina, segundo análises da UFRJ. *Jornal G1*, Rio de Janeiro, 04 jun. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/06/04/cheiro-e-gosto-ruins-na-agua-do-rj-nao-foram-causados-pela-geosmina-segundo-analises-da-ufrj.ghtml>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SACRAMENTO, E. B. *et al.* *Avaliação do potencial citotóxico e genotóxico de águas da Bacia do rio Paraíba do Sul-RJ através do sistema teste Allium cepa.* Revista Ambiente & Água, v. 15, 2020.

SALAMENE, S. *Estratificação e caracterização ambiental da Área de Preservação Permanente do rio Guandu/RJ.* Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.221-231, 2011.

SANTOS, C. L. *Esgotamento sanitário das bacias drenantes à ETA Guandu: uma solução metodológica e institucional.* Dissertação (mestrado em ciências em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, J. F.C dos *et al.* *Fragmentação florestal na Mata Atlântica: O caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil.* Revista brasileira. Bioci. Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 151-158, jul./set. 2017.

SILVA, P.R. *Avaliação qualitativa da segurança hídrica do abastecimento de municípios fluminenses na Bacia do rio Pomba.* Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

SMIDERLE, J.; CAPODEFERRO, M.; TARDIN, I. Apresenta a notícia: Crise na Cedae: como chegou até aqui?. Revista Conjuntura Econômica, v. 74, n. 3, p. 34-37, 2020.

SOARES, A.F.; SOUZA, L.P. *Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde.* Revista De Direito Sanitário, v. 20, n. 2, p. 100-133, 2020.

SONDOTÉCNICA - ENGENHARIA DE SOLOS S.A. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim. *Relatório Síntese*. Brasília: ANA, 2007.

TANG, Y. *et al.* *Emerging pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment*. *Water Environment Research*, v. 91, n. 10, p. 984-991, 2019.

TIMMER, D. K. *et al.* *Source water protection in the Annapolis Valley, Nova Scotia: Lessons for building local capacity*. Toronto, CA: Elsevier, *Land Use Policy*, v. 24, n. 1, p. 187-198, 2007.

TUBBS, D. F.; ANTUNES, J. C.; VETORAZZI, J. S. *Bacia hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda Mirim e Guandu Mirim: Experiências para a gestão dos recursos hídricos*. Edição Inea. Rio de Janeiro: Instituto estadual do ambiente: 2012.

UN-WATER. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. [S.l.]: 2018, p. 138. Disponível em: <<https://www.unwater.org/publications/worldwater-development-report-2018/>>. Acesso em: 02 set. 2021.

UNDESA. *World Urbanization Prospects: The 2014 revision. Highlights*. New York, (USA): United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), 2014. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2022.

UNEP. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment*. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016. Disponível em: <http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2022.

UNEP. *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable World*. Paris: UNESCO, 2015. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. *Safe Drinking Water Act (SDWA)*. 2009. Disponível em: <<http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/>>. Acesso em 11 out. 2022.

VARSHA, M., KUMAR, P. S., & RATHI, B. S. *A review on recent trends in the removal of emerging contaminants from aquatic environment using low-cost adsorbents*. Chemosphere, 287, 132270, 2022.

VIANA, V. J.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; STRAUCH, C. E. *Riscos ambientais envolvendo o transporte de produtos perigosos para as águas captadas pela ETA Guandu, RJ*. Revista Ineana, v. 1, n. 1, p. 46-63, jan-jun, 2012.

VIANA, V. J. *Riscos Ambientais associados ao transporte de produtos perigosos na área de influência da ETA Guandu, RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro / FEN / PEAMB. Rio de Janeiro, 2009.

WERNECK-LIMA, J. E.; FREITAS, G. K.; PINTO, M. A. T.; E SALLES, P. S. B. A. *Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal*. Brasília, DF: Adasa; Caesb; Seagri; Emater, 2018.

XAVIER, G. M. *Metodologia para análise da dinâmica e manutenção do serviço ecossistêmico de regulação hídrica na região hidrográfica do rio Guandu, Rio de Janeiro, RJ*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

APÊNDICE A – Lista de artigos obtidos por meio da revisão sistemática

Figura 56 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (continua)

Zoologia		
Autor	Ano	Título
Macedo, R.L. et al.	2021	Spreading of the invasive dinoflagellate <i>Ceratium furcoides</i> (Levander) Langhans throughout the Paraíba do Sul ecoregion, South America, Brazil
Guedes, G.H. et al.	2020	The recapture of <i>Leptopanchax opalescens</i> (Aplocheiloidei: Rivulidae), a critically endangered seasonal killifish: habitat and aspects of population structure
Brito V. e Buckup P.A.	2019	The fish fauna of the upper Pirai drainage, a transposed mountain river system in southeastern, Brazil
Mattos, TM. Et al.	2018	Occurrence of phoresy between <i>Ancistrus multispinis</i> (Actinopterygii: Siluriformes) and <i>Ichthyocladus</i> sp. (Diptera: Chironomidae) in Atlantic forest streams, Southeastern Brazil
Casal, G. et al.	2017	Ultrastructural morphology and phylogeny of <i>Henneguya gilbert</i> n. sp. (Myxozoa) infecting the teleostean <i>Cyphocharax gilbert</i> (Characiformes: Curimatidae) from Brazil
Miyahira, I.C. et al.	2017	Freshwater mollusks and environmental assessment of Guandu River, Rio de Janeiro, Brazil
Vieira, V.S.	2016	Metazoários parasitos de <i>Pimelodus</i> spp. e estrutura da comunidade parasitária de <i>Pimelodus maculatus</i> (Siluriformes: Pimelodidae) coletados em duas bacias hidrográficas do Brasil
Amarante, C.F.	2016	Fatores associados à agregação, à abundância e à dominância parasitária em peixes coletados no Estado do Rio de Janeiro, Brasil: um enfoque ecoepidemiológico
Bellay, S. et al.	2015	The patterns of organisation and structure of interactions in a fish-parasite network of a neotropical river
Vieira, V.S et al.	2015	New morphological data on <i>Cucullanus pinnai</i> pinnai (Nematoda) parasitizing <i>Pimelodus maculatus</i> (Pimelodidae) in southeastern Brazil
São Sabas, C.S.	2014	Análise comparativa das comunidades parasitárias de quatro espécies de Siluriformes (Pisces) do Alto Rio São Francisco, Minas Gerais, Brasil
Costa, M.R et al.	2013	Length-weight relationships of 20 fish species in the Guandu River, Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil
Bellay, S.	2013	Estrutura e robustez de redes de interação parasito-hospedeiro peixe
Bueno, C.C	2013	Diversidade de aves em paisagem fragmentada de Mata Atlântica inserida em uma matriz urbana
de Carvalho A.R. et al.	2012	Diplostomidae metacercariae (Digenea: Diplostomoidea) in <i>Geophagus brasiliensis</i> (Perciformes: Cichlidae) from Guandu river, state of Rio de Janeiro, Brazil
Abdallah, V.D. et al.	2012	Three new species of Monogenea (Platyhelminthes) parasites of fish in the Guandu river, southeastern Brazil
Mesquita, R.L. et al.	2011	Ectoparasites as numerical dominant species in parasite community of <i>Trachelyopterus striatulus</i> (Siluriformes: Auchenipteridae) from Guandu River, southeastern Brazil
Aguiar, J.C.	2011	Dactylogyr?deos (Platyhelminthes, Monogenea) parasitos de tr?s esp?cies de peixes da família Pimelodidae (Siluriformes, Pimelodidae) do rio Mogi Gua?u, Pirassununga, SP, Brasil
de Azevedo, R.K. et al.	2010	Acanthocephala, Annelida, Arthropoda, Myxozoa, Nematoda and Platyhelminthes parasites of fishes from the Guandu river, Rio de Janeiro, Brazil

Figura 57 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (continua)

Zoologia		
Autor	Ano	Título
de Carvalho, A.R. et al.	2010	Seasonal variation of metazoan parasites of <i>Geophagus brasiliensis</i> (Perciformes: Cichlidae) from the Guandu river, State of Rio de Janeiro, Brazil
Azevedo, R.K.	2010	Biodiversidade das comunidades parasitárias dos peixes do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Rosim, D.F.	2010	Biodiversidade das comunidades parasitárias em populações de <i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794) (Characiformes, Erythrinidae) provenientes de quatro regiões hidrográficas do Brasil
Venancio, A. C. et al.	2010	Metazoan parasites of Mandi-amarelo <i>Pimelodus maculatus</i> and of Jundia Rhamdia quelen (Osteichthyes: Siluriformes) of Paraíba do Sul River, Volta Redonda, Rio de Janeiro
Abdallah, V.D. et al.	2009	Four new species of ligophorus (monogenea: Dactylogyridae) parasitic on mugil liza (actinopterygii: Mugilidae) from guandu river, Southeastern Brazil
Abdallah, V.D.	2009	Biodiversidade dos Monogenéticos (Platyhelminthes: Monogenea) parasitos de Peixes do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Souza, I.C.	2009	Variações morfológicas de três populações de <i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794) (Ostariophysi; Characiformes; Erythrinidae) no estado do Rio de Janeiro
Viana, V.J.	2009	Riscos Ambientais Associados ao Transporte de Produtos Perigosos na Área de Influência da ETA Guandu
de Carvalho, A.R. et al.	2008	A new species of <i>Sciadicleithrum</i> (Monogenea, Dactylogyridae) parasitic on <i>Geophagus brasiliensis</i> (Perciformes, Cichlidae) from Guandu River, Southeastern Brazil
Parente, T.E. et al.	2008	Induced cytochrome P450 1A activity in cichlid fishes from Guandu River and Jacarepaguá Lake, Rio de Janeiro, Brazil
Albuquerque, M.C.	2008	Helmintos endoparasitos de <i>Pimelodus maculatus</i> Lacépède, 1803, (Actinopterygii, Pimelodidae) de duas localidades (Lagoa e calha do Rio) do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil
de Azevedo, R.K. et al.	2007	Ecologia da comunidade de metazoário parasitos do apaiarí <i>Astronotus ocellatus</i> (Cope, 1872) (Perciformes:Cichlidae) do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Dos Santos, M.D. et al.	2007	Metazoan parasite fauna of <i>Pimelodus maculatus</i> La Cépède, 1803 (Siluriformes, Pimelodidae) from the Guandu river, Rio de Janeiro State, Brazil
Abdallah, V.D. et al.	2007	Two new species of <i>Henneguya</i> Thélohan, 1892 (Myxozoa, Myxobolidae), parasitic on the gills of <i>Hoplosternum littorale</i> (Callichthyidae) and <i>Cyphocharax gilbert</i> (Curimatidae) from the Guandu River, State of Rio de Janeiro, Brazil
Abdallah, V.D. et al.	2006	Ecology of the community of metazoan parasites of tamboatá <i>Hoplosternum littorale</i> (Hancock, 1828) (Siluriformes: Callichthyidae) from Guandu river, State of Rio de Janeiro, Brazil
de Azevedo, R.K.	2006	Composição e estrutura das comunidades parasitárias do Acará <i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy e Gaimard, 1824) e do Apaiará <i>Astronotus ocellatus</i> (Cope, 1872) do Rio Guandu, Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Abdallah, V.D. et al.	2005	Community ecology of metazoan parasites of <i>Cyphocharax gilbert</i> (Quoy e Gaimard, 1824) (Characiformes: Curimatidae) from Guandu river, State of Rio de Janeiro, Brazil
Parente, T.E. et al.	2004	Induced alkoxyresorufin-O-dealkylases in tilapias (<i>Oreochromis niloticus</i>) from Guandu river, Rio de Janeiro, Brazil

Figura 58 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "zoologia" (conclusão)

Zoologia		
Autor	Ano	Título
Azevedo, M.C. et al.	1999	Varição espacial e temporal de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro
Amato, S. A. e Amato, J. F.	1993	A new species of Phyllodistomum Braun, 1899 (Digenea: Gorgoderidae) from Rhamdia quelen (Quoy & Gaimard, 1824) (Siluriformes: Pimelodidae)
Padilha, T.N.	1977	Caracterização da família Zonocotylidae (Trematoda:Digenea) com redescrição de Zonocotyle bicaecata Travassos, 1948, e descrição de um novo gênero
Lima, S.M.; Costa, W.J.	2004	Trichomycterus giganteus (Siluriformes : Loricarioidea : Trichomycteridae): a new catfish from the Rio Guandu basin, southeastern Brazil
Kritsky, D.C. et al.	1995	Neotropical Monogenoidea 22 Variation in Scleroducts Species (Gyrodactylidea, Gyrodactylidea) from Siluriform fishes of Southeastern Brazil
Boeger, W.A.; Popazoglo, F	1995	Neotropical Monogenoidea .23. Two new species of Gyrodactylus (Gyrodactylidae) from a cichlid and an Erythrinid fish of southeastern Brazil
Boeger, W.A. et al.	1994	Neotropical Monogenoidea .20. 2 new species of Oviparous Gyrodactylidea (Polyonchoinea) from loricariid catfishes (Siluriformes) in Brazil and the phylogenetic status of Ooegyrodactylidae harris, 1983

Fonte: Autor, 2022.

Figura 59 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "poluentes" (continua)

Poluentes		
Autor	Ano	Título
Tonhá, M.S. et al.	2021	Trace metal dynamics in an industrialized Brazilian river: A combined application of Zn isotopes, geochemical partitioning, and multivariate
Kligerman, D.C. et al.	2021	Paths to convergence of interests in depollution of the Guandu River in Rio de Janeiro, Brazil
Cristofaro, C.S. et al.	2021	Assessing glyphosate concentrations in six reservoirs of Paraíba do Sul and Guandu River Basins in southeast Brazil
Sacramento, E.B. et al.	2020	Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of waters of the Paraíba do Sul River Basin - RJ through the Allium cepa test system
De Araujo, F.G. et al.	2018	Determination of 4-nonylphenol in surface waters of the guandu river Basin by high performance liquid chromatography with ultraviolet
Santos, T.	2018	Avaliação de fontes de poluição fecal e da susceptibilidade Microbiana ao cloro e antimicrobianos em águas destinadas ao abastecimento público no Rio de Janeiro
Fernandes, J.G.	2018	Ocorrência de poluentes emergentes nos rios Piraí, Paraíba do Sul, Guandu e na água de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de
Fernandes, K.C.	2015	Deteção e quantificação de contaminação fecal hospedeiro-específico em águas destinadas ao abastecimento público
Dias, A.C. et al.	2015	Analysis of estrogenic activity in environmental waters in Rio de Janeiro state (Brazil) using the yeast estrogen screen
Gomes, J.V. et al.	2015	Induction of cytotoxic and genotoxic effects of Guandu River waters in the Allium cepa system
Ferreira A.P.	2015	Distribution and contamination of metals in the soil of Guandu watershed
Araujo, F.G. et al.	2015	Determinação de nonilfenol em águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Guandu por cromatografia líquida de alta eficiência com deteção em ultravioleta
Gonçalves, E.S.	2012	Ocorrência e distribuição de fármacos, cafeína e bisfenol-a em alguns corpos hídricos no Estado do Rio de Janeiro
Nogueira, M.A.	2011	Variabilidade Climática, Disponibilidade Hídrica e ETA Guandu: Uma Análise Qualitativa de Vulnerabilidade.
Ferreira, M.M.	2010	Estimativa dos fluxos de Zn, Cd, Pb e Cu no saco do Engenho, Baía de Sepetiba, RJ Niterói
Cunha, B.C. et al.	2009	Pb isotopic signatures in sediments of a sub-tropical coastal lagoon: Anthropogenic sources for metal contamination in the Sepetiba Bay (SE -
De Carvalho G.F. et al.	2009	Heavy metals in sediment profiles from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study
Viana, V.J.	2009	Riscos Ambientais Associados ao Transporte de Produtos Perigosos na Área de Influência da ETA Guandu.
Ferreira, W.A.	2007	Avaliação preliminar de indicadores de qualidade de água da bacia hidrográfica formadora do Rio Guandu.
Inácio, A.F.	2006	Metalotioneína e metais em Geophagus brasiliensis - Acará
Soares, R.M. et al.	2006	Sublethal exposure from microcystins to renal insufficiency patients in Rio de Janeiro, Brazil
Molisani, M.M. et al.	2006	Mercury contents in aquatic macrophytes from two reservoirs in the Paraíba do Sul: Guandú river system, SE Brazil
Soares M.C.	2005	ETA Guandu. The main water treatment plant in Rio de Janeiro and the Brazilian cyanobacterial legislation
Brito, E.M. et al.	2005	Persistent organic pollutants in two reservoirs along the Paraíba do Sul-Guandu River system, Rio de Janeiro, Brazil
Silva, S.A.	2004	Contaminação por compostos organoclorados da água de distribuição da região metropolitana do Rio de Janeiro: validação de metodologia
Torres, J.P. et al.	2002	Organic micropollutants on river sediments from Rio de Janeiro State, Southeast Brazil
Azcue, J.M. et al.	1994	Environmental effects of aluminum used in water treatment plants of Rio de Janeiro State, Brazil

Figura 60 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "poluentes" (conclusão)

Poluentes		
Autor	Ano	Título
Malm, O. et al.	1989	Heavy metal concentrations and availability in the bottom sediments of the Paraíba do Sul-Guandu river system, RJ, Brazil
Malm, O. et al.	1988	Transport and availability of heavy metals in the Paraíba do Sul-Guandu river system, Rio de Janeiro state, Brazil
Azcue, J.M. et al.	1987	Heavy metals in drinking waters from the Paraíba do Sul - Guandu River System, Rio de Janeiro State, Brazil

Fonte: Autor, 2022.

Figura 61 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "uso da terra e sedimentos"

Uso do Solo e Sedimentos		
Autor	Ano	Título
Bueno, M.M. et al.	2020	Sustainable provision of raw water based on the management of ecosystem services in small watersheds
Schwambak, D. et al.	2019	Effects of native vegetation recovery on soil loss
de Almeida, W.S. et al.	2019	Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics
Santos-Neves, JM; et	2018	Influence of river water diversion on hydrogeochemistry and REE distribution, Rio de Janeiro, Brazil
Jordão, M.D.L.	2017	Influência da transposição de bacias do Paraíba do Sul-Piraí-Guandu na descarga de sólidos suspensos para a Baía de Sepetiba
Bueno, M.M.	2017	Serviços ambientais em microbacias antropizadas
Mezzavilla, N.V.	2016	Resposta de plântulas de aroeira (<i>Schinus Terebinthifolius</i> R.) ao alumínio e a calagem
Santos, F.A.	2016	Formação de povoamento para restauração florestal sob estratégias de controle de <i>Urochloa</i> spp.
Gasparini, K.A. et al.	2013	Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ
Nascimento, D.F. et al.	2012	Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos
de Castro, C.M. e Mo	2012	Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ
Melo, M.A.	2012	Análise espacial entre unidades de conservação e áreas de captação pública de água em regiões hidrográficas no estado do Rio de Janeiro
Salamene, S. et al.	2011	Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do Rio Guandu/RJ
Silva-Filho, E.V. et al.	2011	Origin of rare earth element anomalies in mangrove sediments, Sepetiba Bay, SE Brazil: Used as geochemical tracers of sediment sources
Salamene, S. et al.	2011	Environmental stratification and characterization of permanent preservation area in Guandu River, Rio De Janeiro State, Brazil
David, S.R.	2011	Estudos de metais pesados e isótopos de Pb nos sedimentos da Baía de Sepetiba baseados em geoquímica e na distribuição pelas possíveis áreas fontes
Lisboa, A.C.	2010	Estoque de carbono em área de recomposição florestal com diferentes espaçamentos de plantio

Fonte: Autor, 2022.

Figura 62 - Artigos encontrados durante a revisão sistemática para a subdivisão "gestão"

Gestão		
Autor	Ano	Título
Bravo, R.G. et al.	2020	Urban sustainability: Analyzing the water-energy nexus in the Guandu river basin, Rio de Janeiro, Brazil
Marques, A.C. e Rodr	2019	Avaliação de Cenários de Mudanças Climáticas no Planejamento dos Recursos Hídricos do Sistema de Águas da Região Metropolitana Rio de Janeiro e do Baixo Paraíba do Sul
Arruda, W.S.	2019	Ensino por investigação científica no ensino médio: a qualidade da água
Filho, M.M.	2019	Aplicação do SWAT na modelagem hidrológica da bacia do rio Paraíba do Sul
Machado, D.D.	2017	Análise da Bacia Hidrográfica do Rio São Pedro, sub-bacia do Rio Guandu-RJ, a partir do Sistema GTP (Geossistema - Território - Paisagem) como subsídio à conservação e gestão dos recursos hídricos
Cabral, R.L.	2017	Projeções de vazões afluentes à usina elevatória Santa Cecília (RJ) a partir de cenários de desmatamento da floresta amazônica e de mudanças climáticas
Baptista, M.N.	2014	Critérios ambientais para estabelecimento de ações de manejo em planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul
Misumi, S.Y. et al.	2014	Palynology, Palaeofloristics and Palaeoclimate aspects of late Pleistocene sediments in the Guandu River Hydrographic Basin, Rio de Janeiro, Brazil
de Castro, C.M. e Mo	2012	The environmental problems in the Guandu river Basin: Challenges towards water resources management][A problemática ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu: Desafios para a gestão dos recursos hídricos]
Melo, M.A.	2012	Análise espacial entre unidades de conservação e áreas de captação pública de água em regiões hidrográficas no estado do Rio de Janeiro
Rabelo, D. L.	2011	Por uma genealogia em que a Educação Ambiental é potência na formação dos membros de comitês de bacias hidrográficas
Pinto, N.M.	2010	Rio de Janeiro, refém das Águas do Guandu : a aplicação da Lei 9433/97 e o desenvolvimento do processo legal de distribuição das águas de abastecimento ao longo da história de crescimento da cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE B - Pontos de monitoramento do IQA

Figura 63 - Pontos de monitoramento do IQA, com seus respectivos rios, coordenadas geográficas e localização.

Rio	UF	Município	Ponto	Latitude	Longitude
Paraíba do Sul	SP	Jambeiro	PARB02050	-23,55888889	-45,88666667
		Sta. Branca	PARB02100	-23,36805556	-45,89972222
		Sta. Branca	PARB02200	-23,31333333	-45,97222222
		Jacareí	PARB02300	-23,19500000	-45,93000000
		S.J. dos Campos	PARB02310	-23,18777778	-45,91777778
		Caçapava	PARB02400	-23,07833333	-45,71083333
		Tremembé	PARB02490	-22,96111111	-45,55277778
		Pindamonhangaba	PARB02530	-22,91166667	-45,50277778
		Aparecida	PARB02600	-22,84444444	-45,23444444
		Lorena	PARB02700	-22,70333333	-45,11944444
		Queluz	PARB02900	-22,54222222	-44,77388889
		Resende (R. Funil)	PS0410	-22,52903333	-44,56849444
		Resende	PS0413	-22,46689722	-44,44792500
		Porto Real	PS0415	-22,45046944	-44,30037778
		Barra Mansa	PS0418	-22,52577222	-44,18995278
		Volta Redonda	PS0419	-22,51996944	-44,13320278
		Volta Redonda	PS0421	-22,47845000	-44,06301944
		Barra do Piraí	PS0423	-22,49903056	-43,93457778
		Reservatório S. Cecília	SC0200	-22,48223056	-43,83918056
Ribeirão das Lajes	RJ	Piraí	LG350	-22,68235278	-43,81666389
		Paracambi	LG351	-22,69215278	-43,78428611
Macacos		Paracambi	MC410	-22,62812500	-43,70334444
Santana		Japeri	SN331	-22,63714167	-43,66818056
São Pedro		Japeri	SP310	-22,64249722	-43,62298889
Ipiranga		Nova Iguaçu	IR251	-22,78778056	-43,59148611
Poços		Queimados	PO290	-22,72925833	-43,62951944
Queimados		Queimados	QM271	-22,73036667	-43,59254444
Guandu		Seropédica	GN201	-22,65720000	-43,66421944
		Nova Iguaçu	GN200	-22,80936944	-43,62728611

Fonte: Autor, baseado em dados do INEA (2019) e CETESB (2019).

ANEXO A - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido aos acidentes com produtos poluentes, em empreendimentos na região à montante da captação da ETA Guandu até o município de Volta Redonda

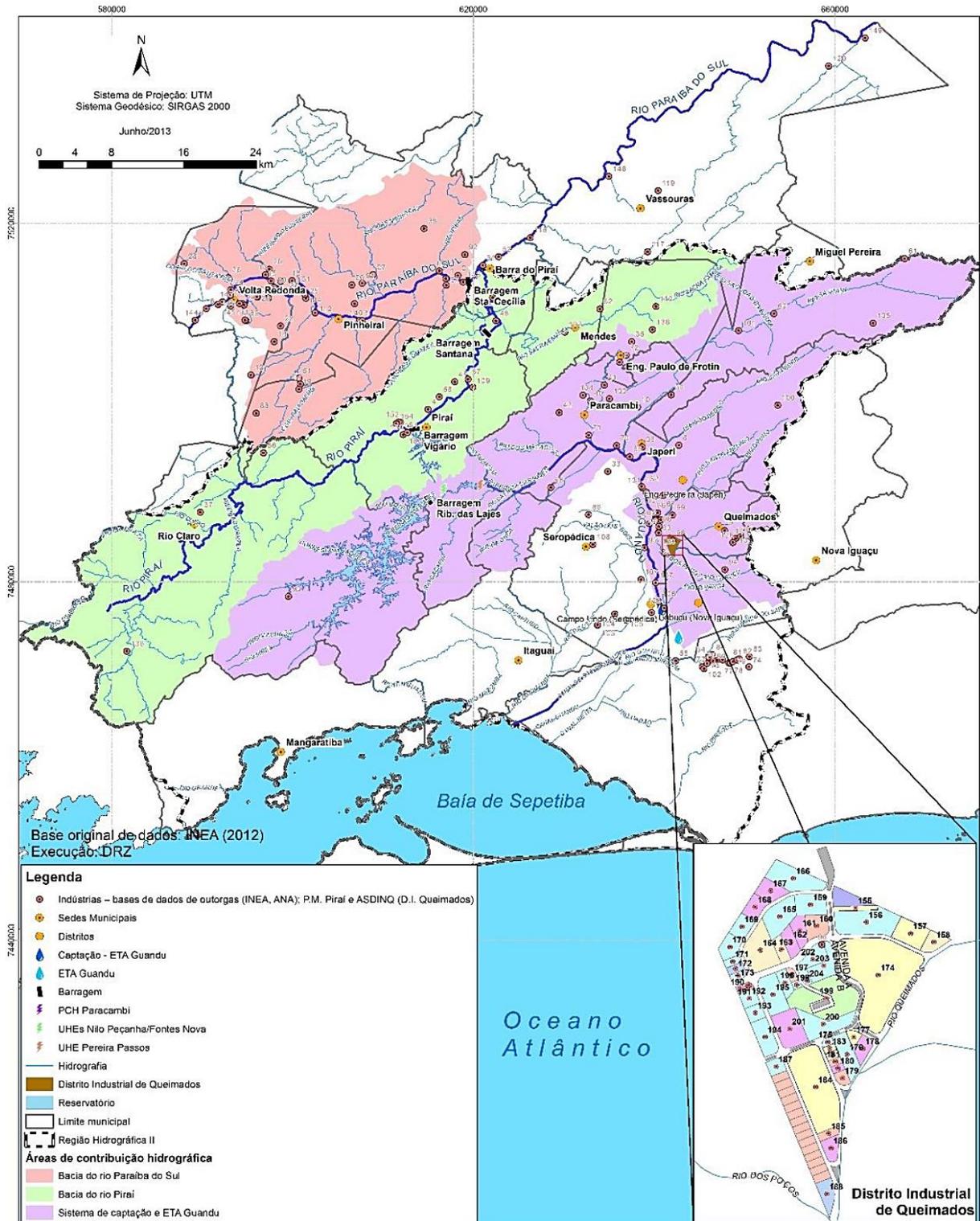
Figura 64 - Vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos devido aos acidentes com produtos poluentes, em empreendimentos na região à montante da captação da ETA Guandu até o município de Volta Redonda para o ano de 2012.

Área	Município	Vulnerabilidade à Contaminação (adimensional)																	
		Empreendimentos																	
		Indústria		Serviços		Comércio		Agronegócios		Construção		Energia		Mineração		Fabricação		Outros	
(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)	(adim.)	(%)
Paraíba	Volta Redonda	1.440,0	18,9	132,0	1,7	60,0	0,8	4,0	0,1	6,0	0,1	0,0	0,0	24,0	0,3	0,0	0,0	7,0	0,1
	Pinheiral	120,0	1,6	27,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,3	1,0	0,0
	Barra do Pirai	680,0	8,9	168,0	2,2	16,0	0,2	28,0	0,4	32,0	0,4	0,0	0,0	64,0	0,8	64,0	0,8	16,0	0,2
Pirai	Pirai	460,0	6,0	75,0	1,0	2,0	0,0	16,0	0,2	2,0	0,0	1,0	0,0	76,0	1,0	4,0	0,1	1,0	0,0
	Rio Claro	10,0	0,1	3,0	0,0	2,0	0,0	4,0	0,1	2,0	0,0	1,0	0,0	28,0	0,4	4,0	0,1	1,0	0,0
Guandu	Engenheiro Paulo de Frontin	240,0	3,2	21,0	0,3	2,0	0,0	4,0	0,1	2,0	0,0	1,0	0,0	4,0	0,1	4,0	0,1	1,0	0,0
	Japeri	370,0	4,9	66,0	0,9	4,0	0,1	4,0	0,1	2,0	0,0	0,0	0,0	36,0	0,5	12,0	0,2	0,0	0,0
	Miguel Pereira	110,0	1,4	24,0	0,3	6,0	0,1	8,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,1	6,0	0,1
	Mendes	140,0	1,8	21,0	0,3	8,0	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,2	1,0	0,0
	Nova Iguaçu	130,0	1,7	66,0	0,9	24,0	0,3	0,0	0,0	6,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	36,0	0,5	3,0	0,0
	Paracambi	240,0	3,2	24,0	0,3	6,0	0,1	0,0	0,0	6,0	0,1	10,0	0,1	12,0	0,2	12,0	0,2	1,0	0,0
	Queimados	790,0	10,4	99,0	1,3	6,0	0,1	4,0	0,1	8,0	0,1	0,0	0,0	12,0	0,2	40,0	0,5	8,0	0,1
Seropédica	530,0	7,0	87,0	1,1	6,0	0,1	20,0	0,3	8,0	0,1	12,0	0,2	664,0	8,7	20,0	0,3	0,0	0,0	
Total		5.260,0	69,1	813,0	10,7	142,0	1,9	92,0	1,2	76,0	1,0	26,0	0,3	920,0	12,1	232,0	3,0	46,0	0,6

Fonte: CBH GUANDU, 2015.

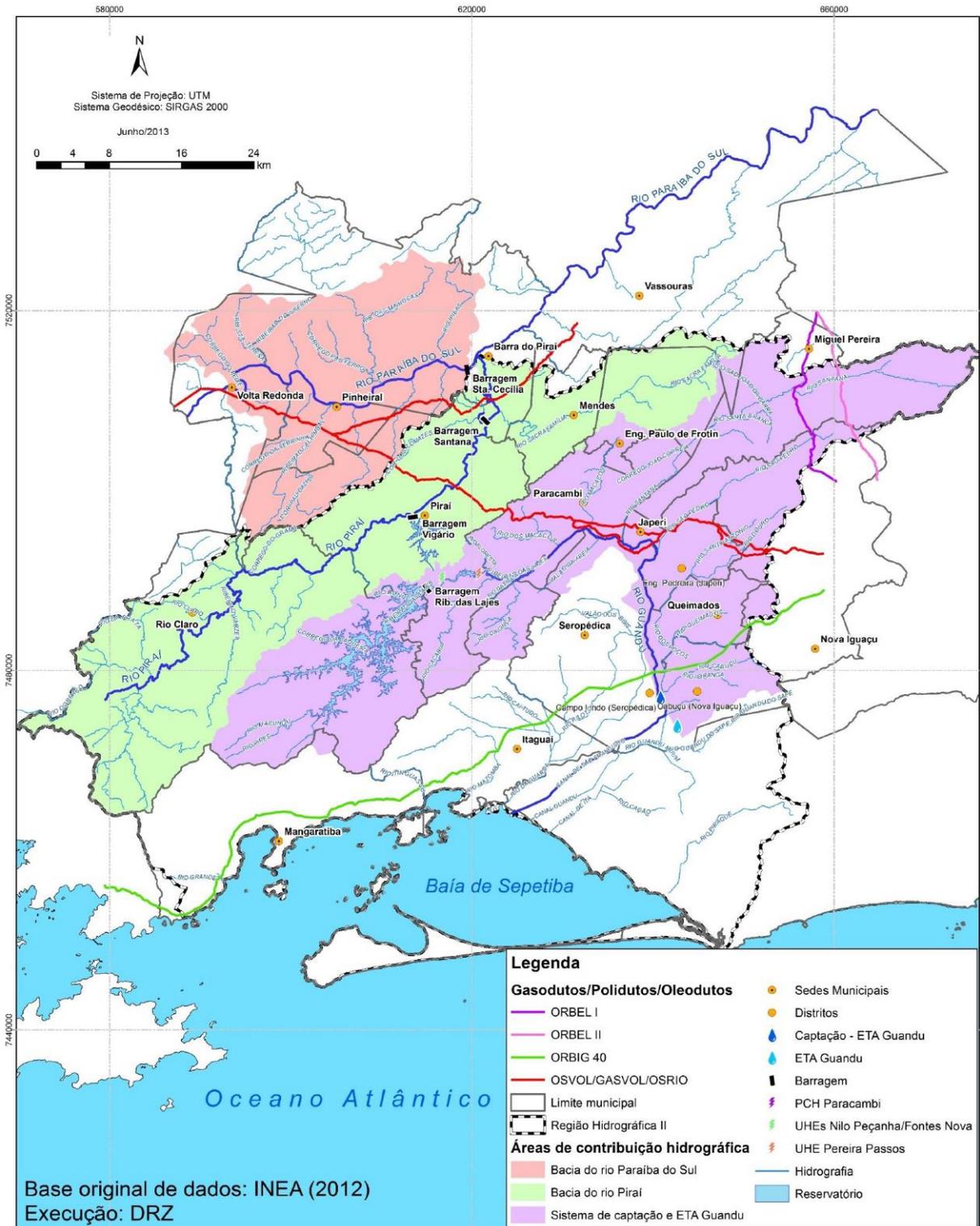
ANEXO B- Indústrias e dutos identificados pelo Plano de Contingência para abastecimento de água (Guandu)

Figura 65 - Indústrias presentes na Bacia do rio Guandu e trecho a montante da transposição na bacia do médio Paraíba do Sul até Volta Redonda



Fonte: CBH GUANDU, 2015.

Figura 66 - Principais dutos nas áreas de estudo na Bacia do rio Guandu e trecho a montante da transposição na bacia do médio Paraíba do Sul até Volta Redonda



Fonte: CBH GUANDU, 2015.

ANEXO C – Ações preventivas identificados pelo Plano de Contingencia de Abastecimento de Água na ETA Guandu

PAE01-ROD: Acidentes rodoviários com produtos perigosos atingindo o trecho estudado da bacia do rio Paraíba do Sul, áreas do sistema de transposição (rio Piraí e Reservatório do Vigário), os reservatórios de Ribeirão das Lajes, Ponte Coberta, bem como o próprio Ribeirão das Lajes (notadamente na Serra das Araras) e o Rio Guandu e / ou qualquer um de seus afluentes, afetando diretamente a qualidade e quantidade da água bruta, com sérios prejuízos aos sistemas públicos de abastecimento de água:

Ações Preventivas:

- V.1 Reconfigurar o traçado da rodovia BR-116 no trecho da Serra das Araras (Urgente);

- V.2 Restringir o tráfego e ou realizar operação comboio para descida de carga de produtos perigosos em situações mais críticas (período noturno, condição chuvosa, neblina) na Serra das Araras (BR-116), até viabilização do novo traçado (Urgente);

- V.3 Promover a melhoria contínua e manter os sistemas operacionais de monitoramento e controle de velocidade na BR-116 / 393 / 465 e nas rodovias estaduais RJ-105, RJ-109 (Arco Rodoviário Metropolitano), RJ-125, RJ-127, RJ-93, RJ-139, RJ-141, RJ-145, RJ-149, RJ-155, com o emprego de sonorizadores, lombadas eletrônicas, radares etc. (Importante);

- V.4 Fiscalizar periodicamente todos os veículos e caminhões de carga de produtos e resíduos perigosos, através dos Postos de Fiscalização antes da descida e subida da Serra das Araras e nas proximidades do reservatório do Vigário, até viabilização do novo traçado (Importante);

- V.5 Instalar e manter placas de sinalização, em ambos os sentidos, na BR-116, sendo, ao menos uma no km 218 (subida da Serra das Araras) e outra no km 229 Norte (descida da Serra das Araras), e BR-393 (em locais de cruzamento e margeamento do rio Paraíba do Sul) informando sobre crime ambiental de poluição de manancial hídrico e respectivas sanções administrativas, civis e penais (Lei de Crimes Ambientais) (Importante); - V.6 Instalar e manter placas de sinalização (ambos os sentidos), antes dos cruzamentos das rodovias com os principais cursos d'água, informando sobre crime ambiental de poluição de manancial hídrico e respectivas sanções administrativas, civis e penais (Lei de Crimes Ambientais). São elas: (i) RJ-093: no cruzamento dos rios Santana, Rio São Pedro e às margens do Rio Guandu (02 pontos); (ii) RJ-105: no cruzamento com o Rio Ipiranga e próximo ao ponto de captação da

ETA Guandu; (iii) RJ-109 - Arco Rodoviário Metropolitano: nos cruzamentos com os rios Guandu, Santo Antônio e Douro; (iv) RJ-125: cruzamentos dos rios Guandu e Santana; (v) RJ-127: nos cruzamentos do Rio Macacos e o Ribeirão das Lajes; (vi) RJ-139: no cruzamento com o Reservatório do Vigário; (vii) RJ-141: no cruzamento e margeamento do rio Paraíba do Sul; (viii) RJ-145: no cruzamento e margeamento do rio Piraí; (ix) RJ-149: no cruzamento com o rio Claro, Piraí e cinco afluentes do reservatório de Ribeirão das Lajes; (x) RJ-155: no cruzamento e margeamento do rio Piraí e no cruzamento do rio Claro (Importante);

PAE02-DUT: Acidentes com produtos perigosos transportados pelos dutos ORBIG 40, OSRIO / OSVOL, OSBEL I e II, atingindo o Rio Paraíba do Sul, rio Piraí, Ribeirão das Lajes e ou Rio Guandu e seus afluentes, com alteração da qualidade da água nas áreas de estudo e possibilidade de parada da ETA Guandu:

Ações Preventivas:

- V.1 Monitorar a operação da dutovia através de: (i) Balanço de massas (ii)

Passagem de PIG (iii) Sistema de proteção catódica (iv) Inspeções visuais periódicas (v) Acompanhamento geotécnico periódico de estabilidade de faixa (Urgente);

- V.2 Revisar o Plano de Emergência Individual de modo a aprimorar a integração dos conceitos (e elementos associados), de bacias hidrográficas, transposição de bacias, cursos d'água e pontos de captação de água para abastecimento público, com o monitoramento de dutos já efetuado pela Transpetro (Urgente);

- V.3 Aprimorar e manter a sinalização da faixa de dutos, em especial em locais de cruzamento e margeamento de cursos d'água, bem como promover sua manutenção periódica (Importante);

- V.4 Inspeccionar as válvulas de bloqueio das áreas de cruzamento e margeamento e promover a substituição daquelas de fechamento manual pelas de fechamento automático, onde aplicável (Importante);

PAE03-IND: Acidentes industriais com derramamento de produtos químicos (matérias-primas, produtos, efluentes e ou resíduos) atingindo o Rio Paraíba do Sul, rio Piraí, Ribeirão das Lajes e ou Rio Guandu e seus afluentes, com alteração da qualidade da água nas áreas de estudo e possibilidade de parada da ETA Guandu. Áreas prioritárias: Volta Redonda (e cidades a montante); indústrias em Barra do Piraí e Piraí; indústrias entre Nova Iguaçu e Paracambi; e Distrito Industrial de Queimados:

Ações Preventivas:

- V.1 Executar e atualizar cadastro georreferenciado, acessível on-line, das indústrias das áreas estudadas, incluindo informações sobre: principais tipologias e características quantitativas e qualitativas de matérias-primas, produtos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos sólidos, bem como registros de acidentes e transporte de materiais associados às indústrias (matérias primas, produtos, resíduos perigosos etc.) (Urgente);

- V.2 Aumentar frequência de fiscalização ambiental de indústrias, nas áreas estudadas (lançamento ou destinação de efluentes, destinação de resíduos, emissões atmosférica, qualidade das águas e do ar etc.) (Urgente);

- V.3 Consolidar, disponibilizar e divulgar as informações do cadastro georreferenciado das indústrias (lançamento ou destinação de efluentes, destinação de resíduos, emissões atmosférica, qualidade das águas e do ar etc.) (Importante);

- V.4 Aprimorar campanhas de combate a acidentes ambientais nas indústrias (Necessária);

PAE04-FER: Acidentes ferroviários com vazamento de óleo diesel das locomotivas e / ou de cargas transportadas, atingindo o Rio Paraíba do Sul, Rio Pirai e o Ribeirão das Lajes, Rio Guandu e respectivos afluentes, com alteração da qualidade da água nas áreas de estudo e possibilidade de parada da ETA Guandu:

Ações Preventivas:

- V.1. Revisar e aprimorar procedimentos de rotina de inspeções da qualidade dos trilhos, sistemas de drenagem pluvial, estabilidade geotécnica da via, sinalização de velocidade permitida etc., notadamente em locais de cruzamento e ou margeamento de cursos d'água, buscando condições de segurança compatível com a proteção dos cursos d'água das áreas estudadas (Importante);

- V.2. Inspecionar composições de modo a garantir que os vagões, locomotivas e equipamentos obedeçam às especificações de fabricação e requisitos de segurança e manutenção (Importante);

- V.3. Executar, disponibilizar e divulgar o mapeamento dos locais de risco de acidentes ferroviários, nas áreas estudadas (Necessária);

PAE05-ETA: Acidentes ambientais com: (i) rompimento da barragem principal ou auxiliar e ou do sistema de captação; (ii) desmoronamento de galerias de escoamento (captação - desarenador e elevatória - ETA); (iii) rompimento do sistema de gradeamento (desarenador); (iv) falha no bombeamento de recalque (elevatória); (v) contaminações ou ameaça de

contaminações dos suprimentos de água bruta por agentes químicos ou biológicos, nas proximidades da captação da ETA Guandu por atos intencionais ou não:

Ações Preventivas:

- V.1 Implementar, operar e manter melhorias na segurança e vigilância da região entre a captação, desarenador / elevatória e ETA Guandu, com restrição de acesso apenas a pessoas autorizadas (Urgente);

PAE06-LAJ: Acidentes ambientais envolvendo: (i) colapso total ou parcial do reservatório de Ribeirão das Lajes; (ii) Contaminação oriunda de acidentes na RJ-149, atingindo o reservatório de Ribeirão das Lajes; (iii) Contaminação associada ao uso recreativo no reservatório (barcos):

Ações Preventivas:

- V.1 Mapear fontes de poluição e risco de acidentes ambientais no reservatório de Ribeirão das Lajes e seus afluentes (Urgente);

- V.2 Aprimorar e manter sistema de gestão e capacitação técnica contínua dos funcionários, minimizando falhas humanas na operação e monitoramento das estruturas (barragens, diques e taludes do reservatório de Ribeirão das Lajes) (Importante);

- V.3 Aprimorar as inspeções dos dispositivos estruturais da barragem do reservatório de Ribeirão das Lajes (Importante);

PAE07-NUC: Acidentes rodoviários envolvendo derramamento de produtos e ou rejeitos radioativos transportados através das rodovias BR-116 e RJ-155, considerando logística de transporte entre Aeroporto Internacional Tom Jobim, Fábrica de Combustíveis Nucleares (FCN), Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA - Angra 2):

Ações Preventivas:

- V.1. Efetuar o mapeamento dos locais de risco de acidentes rodoviários, considerando os trajetos mais prováveis associados ao transporte de produtos e ou rejeitos radioativos nas áreas estudadas (Urgente);

- V.2 Fornecer subsídios para a integração do Plano de Ação de Emergência para o transporte de materiais e ou rejeitos radioativos com o Plano de Contingência para Abastecimento de Água - Guandu (Urgente);

- V.3 Revisar o Plano de Atendimento à Emergência de modo a aprimorar a integração dos conceitos (e elementos associados) de bacias hidrográficas, cursos d'água, transposições de

bacias e pontos de captação de água para abastecimento público, com o sistema de gerenciamento de risco controle já estabelecido para este transporte de materiais e ou rejeitos radioativos (Urgente);

- V.4 Inserir parâmetros radioativos no monitoramento da qualidade das águas, desde o reservatório do Funil até a captação da ETA Guandu (Importante);

PAE-08-GER: Procedimentos e ações de caráter geral para acidentes ambientais na Área I (Bacia do Rio Paraíba do Sul - Trecho Volta Redonda a Barra do Piraí), Área II (Bacia do Rio Piraí) e Área III (Bacia do Rio Guandu), validas para e ao longo de toda a área de estudo:

Ações Preventivas:

- V.1 Implantar Área de Proteção e Recuperação de Mananciais - APRM, com extensão coincidente com as áreas de estudo (bacias dos rios Paraíba do Sul, Piraí e Guandu) (Urgente);

- V.2 Auditar bienalmente as principais atividades que aportam riscos à água bruta da ETA Guandu, avaliando: (i) existência dos Planos de Atendimento a Emergências - PAE (associados aos elementos-foco); (ii) existência de ações para proteção da captação / ETA Guandu; (iii) eficácia das ações para proteção da captação / ETA Guandu (Urgente);

- V.3 Implementar, operar e manter programa de uso racional e reuso de água na área de interesse, com foco diferenciado para grandes consumidores, industriais e consumidor domiciliar (Necessária);

- V.4 Inserir a necessidade de instalação de dispositivos estruturais de contenção de produtos químicos perigosos conectados aos sistemas de drenagem pluvial como exigência técnica, nos processos de licenciamento ambiental, e ou como requisito quando da efetivação / renovação de processos de concessão de: (i) rodovias (novas, ampliação, duplicação etc.); (ii) ferrovias; (iii) dutovias (Necessária);

- V.5 Aprimorar a rede atual de monitoramento de qualidade das águas, com reavaliação dos pontos e parâmetros atualmente utilizados para situações de acidentes (prevenção e resposta), incluindo integração de monitoramento quantitativo e de qualidade e telemetria (Importante);

- V.6 Executar estudos de modelagem hidrológica, transporte, mobilidade e fixação de poluentes de interesse à implementação / atualização do Plano de Contingência (Urgente);

- V.7 Revisar procedimentos de licenciamento ambiental para aprimoramento da redução de riscos de acidentes ambientais com repercussão negativa sobre a água bruta da ETA Guandu, em complemento às ações 28 e 75 (Urgente).

ANEXO D – Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021

Figura 67 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (continua)

DATA DE COLETA	CONCENTRAÇÃO TOTAL - GEOSMINA / MIB		
	Análises Terceirizadas - Laboratório Mérieux Nutriciences - Contrato 148/20 DSG		
	Ponto de Captação (µg/L)	Saída de Tratamento VETA (µg/L)	Saída de Tratamento NETA (µg/L)
01/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
02/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
03/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
04/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
05/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
06/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
07/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
08/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
09/01/2021	0,013	<0,010	<0,010
10/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
11/01/2021	0,062	0,023	<0,010
12/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
13/01/2021	0,014	<0,010	<0,010
14/01/2021	0,013	<0,010	<0,010
15/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
16/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
17/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
18/01/2021	0,032	0,011	<0,010
19/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
20/01/2021	0,061	0,015	<0,010
21/01/2021	0,070	<0,010	<0,010
22/01/2021	<0,010	<0,010	<0,010
23/01/2021	0,022	<0,010	<0,010
24/01/2021	0,024	<0,010	<0,010
25/01/2021	0,318	0,023	<0,010
26/01/2021	0,165	0,033	<0,010
27/01/2021	0,259	0,037	<0,010
28/01/2021	0,128	0,021	<0,010
29/01/2021	0,088	0,033	<0,010
30/01/2021	0,260	0,087	0,015
31/01/2021	0,131	0,061	0,017
01/02/2021	0,118	<0,010	<0,010
02/02/2021	0,121	0,039	<0,010
03/02/2021	0,025	0,027	<0,010
04/02/2021	0,051	0,015	<0,010
05/02/2021	0,020	<0,010	<0,010
06/02/2021	0,061	0,021	<0,010
07/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
08/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
09/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
10/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
11/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
12/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010

Figura 68 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (continua)

DATA DE COLETA	CONCENTRAÇÃO TOTAL - GEOSMINA / MIB		
	Análises Terceirizadas - Laboratório Mérieux Nutriciences - Contrato 148/20 DSG		
	Ponto de Captação (µg/L)	Saída de Tratamento VETA (µg/L)	Saída de Tratamento NETA (µg/L)
13/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
14/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
15/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
16/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
17/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
18/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
19/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
20/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
21/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
22/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
23/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
24/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
25/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
26/02/2021	<0,010	<0,010	<0,010
27/02/2021	0,016	<0,010	<0,010
28/02/2021	0,020	<0,010	<0,010
01/03/2021	<0,010	<0,010	<0,010
02/03/2021	0,024	<0,010	<0,010
03/03/2021	0,017	<0,010	<0,010
04/03/2021	0,020	<0,010	<0,010
05/03/2021	0,013	<0,010	<0,010
06/03/2021	<0,010	<0,010	<0,010
07/03/2021	0,019	<0,010	<0,010
08/03/2021	0,017	<0,010	<0,010
09/03/2021	0,031	0,012	<0,010
10/03/2021	0,032	0,018	<0,010
11/03/2021	0,040	<0,010	<0,010
12/03/2021	0,021	<0,010	<0,010
13/03/2021	0,036	<0,010	<0,010
14/03/2021	0,015	<0,010	<0,010
15/03/2021	0,029	0,018	<0,010
16/03/2021	0,101	0,030	<0,010
17/03/2021	0,189	0,014	0,011
18/03/2021	0,509	0,198	0,035
19/03/2021	<0,010	0,027	<0,010
20/03/2021	0,378	0,026	<0,010
21/03/2021	0,319	0,090	0,016
22/03/2021	0,305	0,061	<0,010
23/03/2021	0,515	0,183	0,025
24/03/2021	0,173	0,034	<0,010
25/03/2021	0,646	0,114	0,029
26/03/2021	0,173	0,053	<0,010
27/03/2021	0,107	0,069	<0,010

Figura 69 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º quadrimestre de 2021 (conclusão)

DATA DE COLETA	CONCENTRAÇÃO TOTAL - GEOSMINA / MIB		
	Análises Terceirizadas - Laboratório Mérieux Nutriciences - Contrato 148/20 DSG		
	Ponto de Captação (µg/L)	Saída de Tratamento VETA (µg/L)	Saída de Tratamento NETA (µg/L)
28/03/2021	0,077	0,092	0,020
29/03/2021	0,521	0,170	0,045
30/03/2021	0,495	0,109	0,018
31/03/2021	0,732	0,261	0,049
01/04/2021	0,726	0,194	0,052
02/04/2021	1,551	0,088	0,066
03/04/2021	1,166	0,516	0,080
04/04/2021	1,905	0,493	0,088
05/04/2021	0,537	0,308	0,075
06/04/2021	0,641	0,152	0,033
07/04/2021	0,151	0,058	<0,010
08/04/2021	0,070	0,056	<0,010
09/04/2021	0,111	0,056	<0,010
10/04/2021	0,102	0,022	<0,010
11/04/2021	0,069	0,027	<0,010
12/04/2021	0,020	<0,010	<0,010

Fonte: CEDAE, 2021b.

Figura 70 - Monitoramento de geosmina / MIB - Sistema Guandu – 2021 para o 1º trimestre de 2020

DATA DE COLETA	CONCENTRAÇÃO TOTAL - GEOSMINA / MIB (Análises Terceirizadas - Laboratório Mérieux Nutriciences)	
	Concentração no Ponto de Captação (micrograma/L)	Concentração Média na Saída de Tratamento (micrograma/L)
26/01/2020	1,50	0,82
27/01/2020	1,20	0,43
28/01/2020	1,96	0,76
29/01/2020	1,59	0,80
30/01/2020	1,56	0,84
03/02/2020	0,78	0,30
04/02/2020	0,39	0,07
05/02/2020	0,65	0,19
06/02/2020	0,68	0,12
07/02/2020	0,45	0,22
08/02/2020	0,033	0,027
09/02/2020	0,018	0,018
10/02/2020	0,056	0,022
11/02/2020	0,111	< 0,010
12/02/2020	0,052	0,050
13/02/2020	0,057	0,031
14/02/2020	0,064	0,034
15/02/2020	<0,010	<0,010
16/02/2020	0,026	<0,010
17/02/2020	0,029	0,026
21/02/2020	0,043	0,014
22/02/2020	0,043	0,016
23/02/2020	0,042	0,023
24/02/2020	0,047	0,015
25/02/2020	0,019	0,011
26/02/2020	0,014	<0,010
27/02/2020	0,016	<0,010
28/02/2020	<0,010	0,018
29/02/2020	<0,010	<0,010
01/03/2020	0,022	0,010
02/03/2020	0,026	<0,010
03/03/2020	<0,010	<0,010
04/03/2020	<0,010	<0,010
05/03/2020	<0,010	<0,010
06/03/2020	<0,010	<0,010
07/03/2020	<0,010	<0,010
08/03/2020	<0,010	<0,010
09/03/2020	<0,010	<0,010
10/03/2020	<0,010	<0,010
11/03/2020	<0,010	<0,010
12/03/2020	0,042	<0,010
13/03/2020	<0,010	<0,010
14/03/2020	<0,010	<0,010
15/03/2020	<0,010	<0,010
16/03/2020	<0,010	<0,010
17/03/2020	<0,010	<0,010
18/03/2020	0,058	0,018

Fonte: CEDAE, 2020a.

ANEXO E – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do Sistema Guandu

Figura 71 - Parâmetro Físico-Químicos e Biológicos do Sistema Guandu para 1º semestre de 2020

Sistema de Abastecimento			Guandu		
Manancial			Rio Guandu		
Origem da Amostra			Água Bruta		
Data da Coleta			03/06/20		
Condições da Água Doce - CONAMA 357/05 - Classe 2			Limite de Quantificação (LQ)	Limite de Detecção (LD)	Resultados
Parâmetros Físico-Químicos	Unidade	VMP			
Materiais Flutuantes	Presente/Ausente	Ausente	-	-	Ausente
Óleos e Graxas Visíveis	Presente/Ausente	Ausente	-	-	Ausente
Substâncias que Comunicam Odor	Presente/Ausente	Ausente	-	-	Ausente
Corantes Artificiais	Presente/Ausente	Ausente	-	-	Ausente
Resíduos Sólidos Objetáveis	Presente/Ausente	Ausente	-	-	Ausente
DBO	mg/L O ₂	5	4,0	-	4,7
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5*	1	0,1	8,2
Turbidez	UNT	100	0,24	0,13	5,6
Cor	Pt/L	75	2,5	-	15,0
pH	pH	6,0 a 9,0	-	-	7,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O ₂	Não Requerido	15	1	< LQ
Condutividade	µS/cm	Não Requerido	1	0,04	97,8
* Valor Mínimo					
Parâmetros Biológicos	Unidade	VMP	LQ	LD	Resultados
Coliformes Totais	col./100 mL	Não Requerido	1	-	17329
<i>Escherichia coli</i>	col./100 mL	1000	1	-	813
Clorofila a	µg/L	30	2	0,4	2,4
Contagem de Cianobactérias	cel/mL	50000	1	-	551
Contagem Outras Algas	cél./mL	Não Requerido	1	-	< LQ
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	2	-	49,7

Fonte: CEDAE, 2020a.

Figura 72 - Parâmetro Inorgânicos do Sistema Guandu para 1º semestre de 2020

Parâmetros Inorgânicos	Unidade	VMP	LQ	LD	Resultados
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,100	0,100	0,033	< LQ
Antimônio	mg/L	0,005	0,008	0,002	< LD
Arsênio Total	mg/L	0,01	0,01	0,003	< LD
Bário Total	mg/L	0,7	0,002	0,001	< LD
Berílio Total	mg/L	0,04	0,003	0,001	< LD
Boro Total	mg/L	0,5	0,026	0,008	< LD
Cádmio Total	mg/L	0,001	0,002	0,001	< LD
Chumbo Total	mg/L	0,01	0,008	0,003	< LD
Cianeto Livre	mg/L	0,005	0,002	0,001	0,003
Cloreto Total	mg/L	250	0,082	0,025	10,8
Cloro Residual Total	mg/L	0,01	0,1	0,01	< LD
Cobalto Total	mg/L	0,05	0,002	0,001	< LD
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009	0,009	0,003	< LQ
Cromo Total	mg/L	0,05	0,002	0,001	< LD
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,3	0,10	< LQ
Fluoreto Total	mg/L	1,4	0,1	0,01	0,13
Fósforo Total	mg P/L	(*)0,03/(**)0,1	0,01	0,002	0,12
Lítio Total	mg/L	2,5	0,003	0,001	< LD
Manganês Total	mg/L	0,1	0,002	0,001	< LD
Mercurio Total	mg/L	0,0002	0,000009	0,000003	< LQ
Níquel Níquel	mg/L	0,025	0,002	0,001	< LD
Nitrato (como N)	mg/L	10	0,006	0,002	1,23
Nitrito (como N)	mg/L	1	0,002	0,001	0,019
Nitrogênio Amoniacal Total	mg/L	3,7	0,012	0,004	< LD
Prata Total	mg/L	0,01	0,001	0,0004	< LD
Selênio Total	mg/L	0,01	0,30	0,10	< LD
Sulfato Total	mg/L	250	0,022	0,007	10
Sulfetos (como H ₂ S não dissociado)	mg/L	0,002	0,02	0,002	<LD
Urânio Total	mg/L	0,02	0,007	0,004	< LD
Vanádio Total	mg/L	0,1	0,003	0,002	< LD
Zinco Total	mg/L	0,18	0,007	0,002	< LD

(*) ambiente lêntico (**) ambiente lótico

Fonte: CEDAE, 2020a.

ANEXO F – Resultados de parâmetros monitorados na saída do tratamento do sistema de abastecimento Guandu

Figura 73 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)

RELATÓRIO SEMESTRAL - SAÍDA DE TRATAMENTO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Formulário de Entrada de Dados Semestrais - Sistema SISAGUA / Ministério da Saúde

PARTE I – IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Unidade da Federação	RJ	Município abastecido		Rio de Janeiro
Nome do Sistema	Guandu	Mês/Ano		1º semestre de 2020
		Data da coleta	Saída do Tratamento (NETA)	Saída do Tratamento (VETA)
			10/06/2020	03/06/2020
				Sistema de Distribuição
				28/04/2020

PARTE II – MONITORAMENTO: MERCÚRIO E AGROTÓXICOS

	Limite de Detecção (mg/L)	Limite de Quantificação (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) (mg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (mg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (mg/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(mg/L)
Mercurio	0,000003	0,000009	0,001	15/06/2020	< LD	15/06/2020	< LD	x	x

Agrotóxicos	Limite de Detecção (µg/L)	Limite de Quantificação (µg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) (µg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (µg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (µg/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(µg/L)
2,4 D + 2,4,5 T	3,33	10,00	30	28/07/2020	< LQ	24/07/2020	< LQ	x	x
Alador	0,07	0,20	20	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Aldicarbe+Aldicarbeseulfona + Aldicarbeseulfóxido	0,024	0,08	10	18/06/2020	< LQ	06/06/2020	< LQ	x	x
Aldrin + Dieldrin	0,01	0,03	0,03	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Atrazina	0,03	0,20	2	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Carbendazim + Benomil	0,024	0,08	120	18/06/2020	< LQ	06/06/2020	< LQ	x	x
Carbofurano	0,17	0,50	7	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Clordano	0,05	0,15	0,2	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Clorpirifós + Clorpirifós-oxido	0,17	0,50	30	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x

Figura 74 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)

Agrotóxicos	Limite de Detecção (µg/L)	Limite de Quantificação (µg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) (µg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (µg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (µg/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(µg/L)
DDT+DDD+DDE	0,002	0,01	1	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Diuron	0,07	0,20	90	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Endossulfan (α+β+saís)	0,017	0,05	20	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Endrin	0,02	0,05	0,6	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Glifosato + AMPA	50	200,00	500	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Lindano (gama-HCH)	0,02	0,05	2	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Mancozebe	0,02	0,08	180	16/06/2020	< LQ	06/06/2020	< LQ	x	x
Metamidofós	0,02	0,08	12	16/06/2020	< LQ	06/06/2020	< LQ	x	x
Metolacloro	0,03	0,10	10	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Molinato	0,03	0,10	6	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Parationa Metílica	0,07	0,20	9	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Pendimetalina	0,03	0,10	20	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Permetrina	0,03	0,10	20	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Profenofós	0,02	0,05	60	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Simazina	0,05	0,15	2	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Tebuconazol	0,33	1,00	180	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Terbufós	0,03	0,10	1,2	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Trifluralina	0,02	0,05	20	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x

Figura 75 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)

PARTE III – SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS E ORGÂNICAS

Inorgânicas	Limite de Detecção (mg/L)	Limite de Quantificação (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) - (mg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (mg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (mg/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(mg/L)
Antimônio	0,002	0,008	0,005	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Arsênio	0,003	0,011	0,01	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Bário	0,001	0,002	0,7	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Cádmio	0,001	0,002	0,005	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Chumbo	0,003	0,008	0,01	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Cianeto	0,001	0,002	0,07	10/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Cobre	0,001	0,002	2	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Cromo	0,001	0,002	0,05	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Fluoreto	0,01	0,10	1,5	10/06/2020	0,68	43965,00	0,55	x	x
Níquel	0,001	0,002	0,07	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Nitrato (como N)	0,002	0,006	10	10/06/2020	1,66	04/06/2020	1,63	x	x
Nitrito (como N)	0,001	0,006	1	10/06/2020	0,004	04/06/2020	< LQ	x	x
Selênio	0,004	0,016	0,01	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Urânio	0,007	0,02	0,03	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Acrilamida	0,02	0,08	0,5	16/06/2020	< LQ	06/06/2020	< LQ	x	x
Benzeno	0,33	1,00	5	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Benzo(a)pireno	0,23	0,700	0,7	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Cloreto de Vinila	0,33	1,00	2	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
1,2-Dicloroetano	0,33	1,00	10	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
1,1-Dicloroetano	0,67	2,00	30	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
1,2-Dicloroetano (cis + trans)	0,67	2,00	50	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Diclorometano	3,33	10,00	20	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Di(2-etilhexil) ftalato	0,33	1,00	8	05/08/2020	< LQ	05/08/2020	< LQ	x	x
Estireno	0,33	1,00	20	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Pentaclorofenol	1,67	5,00	9	26/07/2020	< LQ	24/07/2020	< LQ	x	x

Figura 76 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)

Tetracloro de Carbono	0,67	2,00	4	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Tetracloroetano	0,33	1,00	40	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Triclorobenzenos	0,67	2,00	20	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Tricloroetano	0,33	1,00	20	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x

PARTE IV – DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO

Subprodutos da Desinfecção	Limite de Detecção (mg/L)	Limite de Quantificação (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) - (mg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (mg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (mg/L)	Sistema de Distribuição	
								Data da Análise	(mg/L)
Bromato	0,0017	0,005	0,01	10/06/2020	< LD	04/06/2020	< LD	27/05/2020	< LQ
Clorito	0,007	0,02	1	10/06/2020	< LD	04/06/2020	< LD	27/05/2020	< LQ
Cloraminas Total	0,0333	0,1	4,0	10/06/2020	0,06	03/06/2020	0,14	28/04/2020	0,05
2,4,6-Triclorofenol	0,033	0,100	0,2	26/07/2020	< LQ	24/07/2020	< LQ	24/07/2020	< LQ
Ácidos Haloacéticos Total	0,003	0,010	0,08	26/07/2020	0,015	24/07/2020	< LQ	24/07/2020	0,024
Clorofórmio	0,001	0,002	Somatório < 0,1	17/06/2020	0,005	04/06/2020	0,011	07/05/2020	0,024
Bromodiorometano	0,001	0,002		17/06/2020	0,003	04/06/2020	0,004	07/05/2020	0,010
Dibromodiorometano	0,001	0,002		17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	07/05/2020	0,002
Bromofórmio	0,001	0,002		17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	07/05/2020	< LQ
Trihalometanos Total	0,001	0,002	0,1	17/06/2020	0,008	04/06/2020	0,015	07/05/2020	0,036

PARTE V – RADIOATIVIDADE

Parâmetro	Limite de Detecção (Bq/L)	Limite de Quantificação (Bq/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) - (Bq/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (Bq/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (Bq/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(Bq/L)
Radioatividade alfa global	0,00083	0,0025	0,50	11/09/2020	< LQ	11/09/2020	< LQ	x	x
Radioatividade beta global	0,00017	0,0025	1,00	11/09/2020	< LQ	11/09/2020	< LQ	x	x

Figura 77 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (continua)

PARTE VI – OUTROS PARÂMETROS

** Análise Realizada no Laboratório do Guandu

Parâmetro	Limite de Detecção (mg/L)	Limite de Quantificação (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP) - (mg/L)	Data da Análise (NETA)	Saída do Tratamento NETA (mg/L)	Data da Análise (VETA)	Saída do Tratamento VETA (mg/L)	Sistema de Distribuição	
								Não se aplica	(mg/L)
Alumínio	0,002	0,007	0,2	15/07/2020*	0,040	15/07/2020*	0,040	x	x
Amônia (como NH ₃)	0,01	0,018	1,5	10/06/2020	< LQ	03/06/2020	0,028	x	x
Cloreto	0,025	1,00	250	10/06/2020	11,0	04/06/2020	11,8	x	x
Cor Aparente (uH ¹)	0,2	1,00	15	10/06/2020	2,5	03/06/2020	12,50	x	x
1,2-Diclorobenzeno	0,001	0,002	0,01	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
1,4-Diclorobenzeno	0,001	0,002	0,03	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Dureza Total	0,2	0,58	500	09/07/2020	30	09/07/2020	26	x	x
Etilbenzeno	0,0003	0,001	0,2	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Ferro	0,001	0,003	0,3	09/07/2020	0,15	09/07/2020	0,09	x	x
Gosto e Odor (***)	1	1	6 (***)	11/06/2020	1 ^b	04/06/2020	< LQ	x	x
Manganês	0,001	0,002	0,1	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Monoclorobenzeno	0,0003	0,001	0,12	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Sódio	0,02	0,05	200	09/07/2020	8,9	09/07/2020	8,8	x	x
Sólidos dissolvidos totais	0,2	0,67	1000	10/06/2020	60,8	04/06/2020	58,8	x	x
Sulfato	0,007	0,022	250	10/06/2020	20,6	04/06/2020	7,05	x	x
Sulfeto de Hidrogênio	0,0061	0,020	0,1	10/06/2020	< LQ	03/06/2020	< LQ	x	x
Surfactantes (Como LAS)	0,02	0,05	0,5	10/06/2020	0,06	03/06/2020	0,23	x	x
Tolueno	0,0003	0,001	0,17	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Turbidez (UNT**)	0,13	0,24	5	10/06/2020	1,8	03/06/2020	3,1	x	x
Zinco	0,002	0,005	5	09/07/2020	< LD	09/07/2020	< LD	x	x
Xilenos	0,0003	0,001	0,3	17/06/2020	< LQ	04/06/2020	< LQ	x	x
Condutividade (uS/cm)	0,04	1,00	-	10/06/2020	122,4	04/06/2020	117,4	x	x
pH	NA	NA	6,0 a 9,5	10/06/2020	6,8	04/06/2020	7,3	x	x
Cloro Residual Livre (mg/L)	0,02	0,10	5	10/06/2020	2,4	03/06/2020	2,2	x	x

^b Gosto e Odor NETA: Resultado contratado pelo laboratório do Guandu

Figura 78 - Relatório Semestral de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º semestre de 2020 (conclusão)

PROTOZOÁRIOS (ÁGUA BRUTA)	Limite de Quantificação	VPM	Data da Análise (Água Bruta coletada em 03/06/20)	Resultado Analítico	Sistema de Distribuição	
Cyptosporidium sp (ocistos/L)	0,1	3	09/06/2020	< LQ	x	x
Giárdia sp (cistos/L)	0,1	-	09/06/2020	< LQ	x	x

Fonte: CEDAE, 2020a.

Figura 79 - Resultado analítico de desinfetantes e produtos secundários de desinfecção de saída de tratamento do sistema de abastecimento Guandu do 1º trimestre de 2020

Resultados Analíticos - Desinfetantes e Produtos Secundários da Desinfecção										ANO: 2020	Trimestre: 1	
SISTEMA GUANDU					Saída do Tratamento	Rede I (RJ)	Rede II (N.Iguaçu)	Rede III (D. Caxias)	Rede IV (B. Roxo)	Rede V (Mesquita)	Rede VI (Nilópolis)	Rede VII (S.J. Meriti)
PARAMETROS	Endereço:				Estrada Rio-São Paulo, 32088 - Nova Iguaçu	Rua Padre Telêmaco, 47/43 - Cascadura - Rio de Janeiro	Avenida Dr. Salles Teixeira, 475 - Moqueta - Nova Iguaçu	Rodovia Washington Luiz, 3200 - Duque de Caxias - Rio de Janeiro	Rua Retiro da Imprensa - Vila Heliópolis - Belford Roxo	Rua Mister Watkins, 133 - Centro - Mesquita	Rua General Carneiro Lopes, 165 - Olinda - Nilópolis	Rua Eugênio de Menezes, 34 - Vila Velha - São João de Meriti
	Data:				18/03/2020	03/03/2020	06/03/2020	03/03/2020	15/03/2020	03/03/2020	03/03/2020	23/03/2020
	VMP	LQ	LD	Un.	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos	Resultados Analíticos
Gosto	6	1	1	Intensidade	1	-	-	-	-	-	-	-
Odor	6	1	1	Intensidade	1	-	-	-	-	-	-	-
Bromato	0,01	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Clorito	1	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Cloro Residual Livre	5	0,2	0,1	mg/L	2,5	1,5	1,8	1,4	2,0	2,0	2,0	2,0
Cloraminas Total	4	0,04	0,01	mg/L	< LQ	0,36	0,25	< LQ	< LQ	0,32	0,62	0,08
2,4,6 Triclorofenol	0,2	0,100	0,013	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Monocloroacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Monobromoacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Dicloroacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	0,009	0,013	0,008	0,008	0,009	0,015	< LQ
Ác. 2,2-Dicloropropiônico	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Tricloroacético	-	0,005	0,002	mg/L	0,011	0,030	0,044	0,024	0,022	0,028	0,025	0,011
Ác. Bromocloroacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Dibromoacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ác. Bromodicloroacético	-	0,005	0,002	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Ácidos Haloacéticos Total	0,08	0,005	0,002	mg/L	0,011	0,039	0,057	0,032	0,030	0,037	0,040	0,011
Clorofórmio	-	0,002	0,001	mg/L	0,014	0,020	0,019	0,019	0,029	0,016	0,013	0,023
Bromodiclorometano	-	0,002	0,001	mg/L	0,004	0,006	0,006	0,006	0,010	0,006	0,005	0,006
Dibromoclorometano	-	0,002	0,001	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	0,002	< LQ	0,002	0,002	0,002
Bromofórmio	-	0,002	0,001	mg/L	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Trihalometanos Totais	0,1	0,002	0,001	mg/L	0,018	0,026	0,025	0,027	0,039	0,024	0,020	0,031

Fonte: CEDAE, 2020.