

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

Water security for urban water supply in the face of environmental conditions and source water quality: the case of Guandu Water Treatment Plant, Metropolitan Region of Rio de Janeiro

Iero Xavier de Paula^{1*} , Rosa Maria Formiga-Johnsson¹ 

RESUMO

Este trabalho avalia o nível de segurança hídrica quanto ao abastecimento de água da região oeste metropolitana do Rio de Janeiro, 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 ressaltar, de forma sistêmica, as principais questões de segurança hídrica, no que tange à qualidade de água bruta, na bacia drenante à ETA Guandu, responsável pelo atendimento de 75% da população metropolitana (8,5 milhões de pessoas). A área de estudo compreende essencialmente a bacia do rio Guandu a montante do ponto de captação da ETA. Foi aplicado um modelo analítico de avaliação qualitativa de segurança hídrica, adaptado ao caso da ETA Guandu, associado aos estressores: uso e cobertura da terra, degradação de área de preservação permanente, processos erosivos, acidentes ambientais e carga poluidora. Na sequência, os impactos foram caracterizados por meio dos indicadores de comprometimento da qualidade das águas do Rio Guandu: índice de qualidade de água; percentual de amostras em desconformidade com enquadramento; e registro de poluentes emergentes. Com resultados apontando alto risco para a maior parte dos estressores, concluiu-se ser baixo o nível global de segurança hídrica da ETA Guandu, em termos de qualidade de água bruta. Os problemas relacionados à Lagoa do Guandu são particularmente os mais graves, não somente pela poluição crônica agravada ao longo das décadas, mas sobretudo pela intensa poluição aguda que provocou crises hídricas sem precedentes em 2020 e 2021.

Palavras-chave: segurança hídrica; qualidade de recursos hídricos; manancial de abastecimento público; oeste da metrópole do Rio de Janeiro; bacia do Rio Guandu.

ABSTRACT

This paper assessed the level of water security regarding the water supply in the Western Metropolitan Region of Rio de Janeiro, in terms of quality of water resources at the intake point of the Guandu Water Treatment Plant (WTP), related to the environmental conditions and the quality of the water sources. The main security issues were systemically highlighted, in terms of bulk water quality, in the drainage basin of Guandu WTP, responsible for serving 75% of the metropolitan population (8.5 million people). The study area comprises mainly the Guandu River Basin upstream of the WTP catchment point. An analytical model was used for the qualitative assessment of water security, adapted to the case of Guandu WTP, associated with the stressors: "land use and cover", "degradation of the Permanent Preservation Area", "erosion processes", "environmental accidents", and "polluting load". The impacts on the water quality of the Guandu River were evaluated using the indicators: Water Quality Index; percentage of samples in non-compliance with classification of water bodies; and recordings of emerging pollutants. With results indicating a high risk for most stressors, it was concluded that the level of security for water resources quality of Guandu WTP is low, in terms of bulk water. The problems related to Lagoa do Guandu are particularly the most serious, not only because of chronic pollution that has worsened over the decades, but above all because of the intense acute pollution that caused unprecedented water crises in 2020 and 2021.

Keywords: water security; water resources quality; public water supply; West of the Metropolis of Rio de Janeiro; Guandu River basin.

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

*Autor correspondente: ieroxavier@gmail.com

Conflito de interesses: nada a declarar.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Comitê Guandu/Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Prociência.

Recebido: 17/11/2022 - Aceito: 19/04/2023

INTRODUÇÃO

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

Em termos de segurança hídrica de abastecimento urbano, a literatura geralmente compreende dois componentes (ANA, 2021; MELO *et al.*, 2021):

- a gestão da água bruta, coordenada pelo órgão gestor de recursos hídricos, que tem como propósito garantir segurança hídrica para o sistema de abastecimento urbano e demais usos múltiplos, em termos de quantidade e qualidade de água bruta do manancial;
- o abastecimento de água potável, que geralmente fica a cargo dos municípios e de seus concessionários, com prestação de serviços relacionados a captação, tratamento, distribuição e consumo de água.

Em caso de falha em um dos componentes, gestão de água bruta ou serviço de abastecimento de água potável, pode ocorrer diminuição significativa da segurança hídrica na ponta do sistema para o consumidor final.

Este artigo foca no primeiro componente, gestão de água bruta, e adota como referência o seguinte conceito (FORMIGA-JOHNSON; MELO, 2016):

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.

Mais especificamente, a avaliação limita-se à dimensão de qualidade da água bruta do manancial de captação, tendo como objeto de estudo o Sistema Guandu, que abastece a porção oeste da região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Mediante a aplicação de um modelo analítico adaptado, o artigo teve como objetivo avaliar o nível de segurança hídrica perante estressores relacionados às condições ambientais dos mananciais e à qualidade da água no ponto de captação da estação de tratamento de água (ETA) Guandu.

Essa escolha foi motivada pelas crises hídricas sucessivas nos verões de 2020 e 2021 que afetaram o Sistema Guandu, quando se observaram alta turbidez, odor e sabor desagradáveis na água distribuída para a população da RMRJ, associados à presença da substância conhecida como geosmina ou similar, produzida por microrganismos prejudiciais à qualidade para consumo humano (XAVIER, 2020; KLIGERMAN; SANCANARI; NOGUEIRA, 2021; SOTERO-MARTINS *et al.*, 2021).

A pesquisa teve as seguintes questões norteadoras: qual é o nível de segurança hídrica da água bruta da ETA Guandu perante estressores associados às condições ambientais das bacias drenantes e à qualidade da água bruta? Dos estressores estudados, quais deles tornam a ETA Guandu mais vulnerável e, por consequência, apresentam maior risco ao abastecimento da população do oeste metropolitano do Rio de Janeiro?

OBJETO DE ESTUDO: ETA GUANDU E ÁREA DE INFLUÊNCIA

O objeto de estudo compreende tanto a ETA Guandu quanto a sua área drenante de influência direta, que inclui a região drenante a montante da captação da ETA Guandu, na bacia do Rio Guandu. Em função da transposição da bacia do Rio Paraíba do Sul para a bacia do Rio Guandu, que aporta o essencial da disponibilidade hídrica do Rio Guandu (vazão mínima instantânea de 120 m³/s), incluem-se também o próprio sistema de transposição e parte da região drenante a jusante desse sistema para a avaliação de alguns estressores (Figura 1).

A área de estudo da bacia do Rio Guandu compreende 2.396,69 km². Os trechos do Rio Guandu e seus formadores, dentro da área de estudo, somam o comprimento de 66,63 km (cálculo efetuado pelos autores, utilizando a ferramenta ArcMap 10.8.2).

Quanto à ETA Guandu, sua capacidade atual de tratamento de água é de 43 m³/s, sendo responsável pelo abastecimento de cerca de 75% da população metropolitana (8,5 milhões de pessoas) nos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Itaguaí, Japeri, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados, Rio de Janeiro e São João de Meriti (CEDAE, 2022c). A ETA Guandu está atualmente em expansão, com o Projeto Novo Guandu, para captar e tratar mais 12 m³/s (CEDAE, 2022b).

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO NÍVEL DE SEGURANÇA HÍDRICA

Este trabalho teve como referencial conceitual e metodológico as pesquisas desenvolvidas por Formiga-Johnsson e Melo (2016), Melo (2016), Formiga-Johnsson e Britto (2020), Ikemoto (2020) e Melo *et al.* (2021). Todas elas dedicaram-se à construção e ao aprimoramento de um modelo analítico de avaliação global da segurança de recursos hídricos para o abastecimento público, que foi adaptado ao presente estudo de caso limitado aos aspectos de qualidade das águas. Para tanto, foi desenvolvida uma extensa pesquisa bibliográfica, sobretudo por meio de uma revisão narrativa, que incluiu trabalhos acadêmicos e documentos oficiais tais como o plano de bacia do Rio Guandu (CBH GUANDU; PROFILL, 2018).

Optou-se ainda pela realização de uma revisão sistemática de estudos que tivessem o Rio Guandu e a ETA Guandu como objetos de estudo, visando caracterizar os estressores selecionados e eventualmente apontar a pertinência de novos estressores. Foram escolhidas as plataformas Web of Science, Scopus e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. O levantamento de informações ocorreu no mês de julho de 2021, mediante as palavras-chave “Guandu river” ou “rio Guandu” ou “ETA Guandu”, e foram inicialmente obtidos 145 artigos. Na segunda etapa de investigação, excluíram-se 85 trabalhos acadêmicos que não possuíam aderência com o objeto de estudo ou estavam duplicados. A terceira etapa da revisão dedicou-se à leitura dos 65 artigos restantes, o que permitiu finalmente selecionar nove deles para o desenvolvimento da pesquisa.

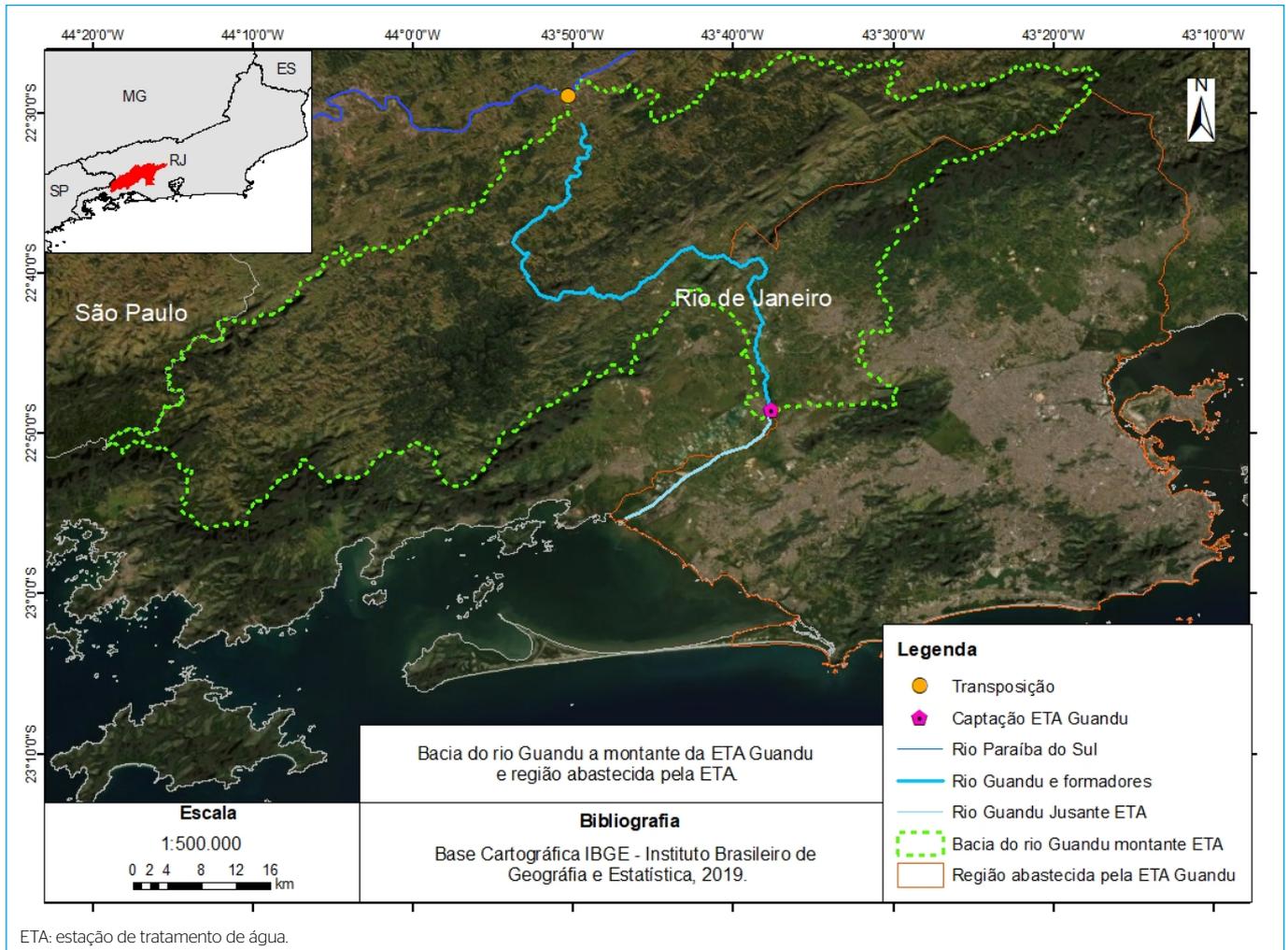


Figura 1 - Área de estudo: bacia do Rio Guandu a montante da ETA Guandu e região abastecida pela ETA dentro da região metropolitana do Rio de Janeiro.

A Figura 2 apresenta uma visão panorâmica do modelo de avaliação adaptado, que será detalhado ao longo desta seção. Nela, estão os estressores escolhidos para avaliar as condições ambientais e qualidade da água bruta e sua relação com os demais componentes de avaliação, que mensuram, no seu conjunto, o risco à segurança da ETA Guandu e ao abastecimento público da metrópole do Rio de Janeiro, porção oeste.

Seleção dos estressores

Segundo Melo (2016), para analisar o risco à segurança hídrica da água bruta, é necessário primeiramente identificar os estressores, que neste trabalho são os fatores de origem antrópica ou climática que podem impactar a qualidade de água bruta disponível para o abastecimento humano pelo Sistema Guandu.

Conforme indicado na Figura 2, foram ao todo selecionados cinco estressores, por meio das revisões narrativa e sistemática. Três deles relacionam-se com as condições ambientais da bacia do Rio Guandu, a montante da ETA Guandu: uso e cobertura da terra, degradação de área de preservação permanente (APP) e processos erosivos. Os outros dois estressores, acidentes ambientais e carga poluidora, podem impactar diretamente a qualidade da água dos mananciais de abastecimento tanto na bacia do Rio Guandu quanto na bacia do Rio Paraíba do Sul, a montante do ponto de transposição.

A revisão sistemática, além de ter sido útil para caracterizar o estressor processos erosivos, trouxe um resultado bem interessante. Oito (dos nove) artigos selecionados serviram sobretudo para chamar a atenção de outro problema de qualidade do Rio Guandu: os poluentes emergentes. Apesar de poluentes emergentes ser aqui considerado como um importante estressor, conforme evidenciado pela literatura, este não pôde ser mensurado como os demais por insuficiência de dados, no entanto o problema foi registrado na análise global do comprometimento da qualidade de água.

Gradação da ocorrência e severidade dos estressores

A análise de risco deve abordar a probabilidade de ocorrência do estressor e o nível da severidade dos impactos (MELO, 2016). 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 impactos sobre uma fonte de água bruta, por sua vez, depende da probabilidade de ocorrência dos estressores em dada base de tempo.

Para cada estressor, foi adotada uma gradação de três níveis (baixo, moderado e alto), tanto para a ocorrência do estressor como para a severidade dos impactos (Quadro 1).

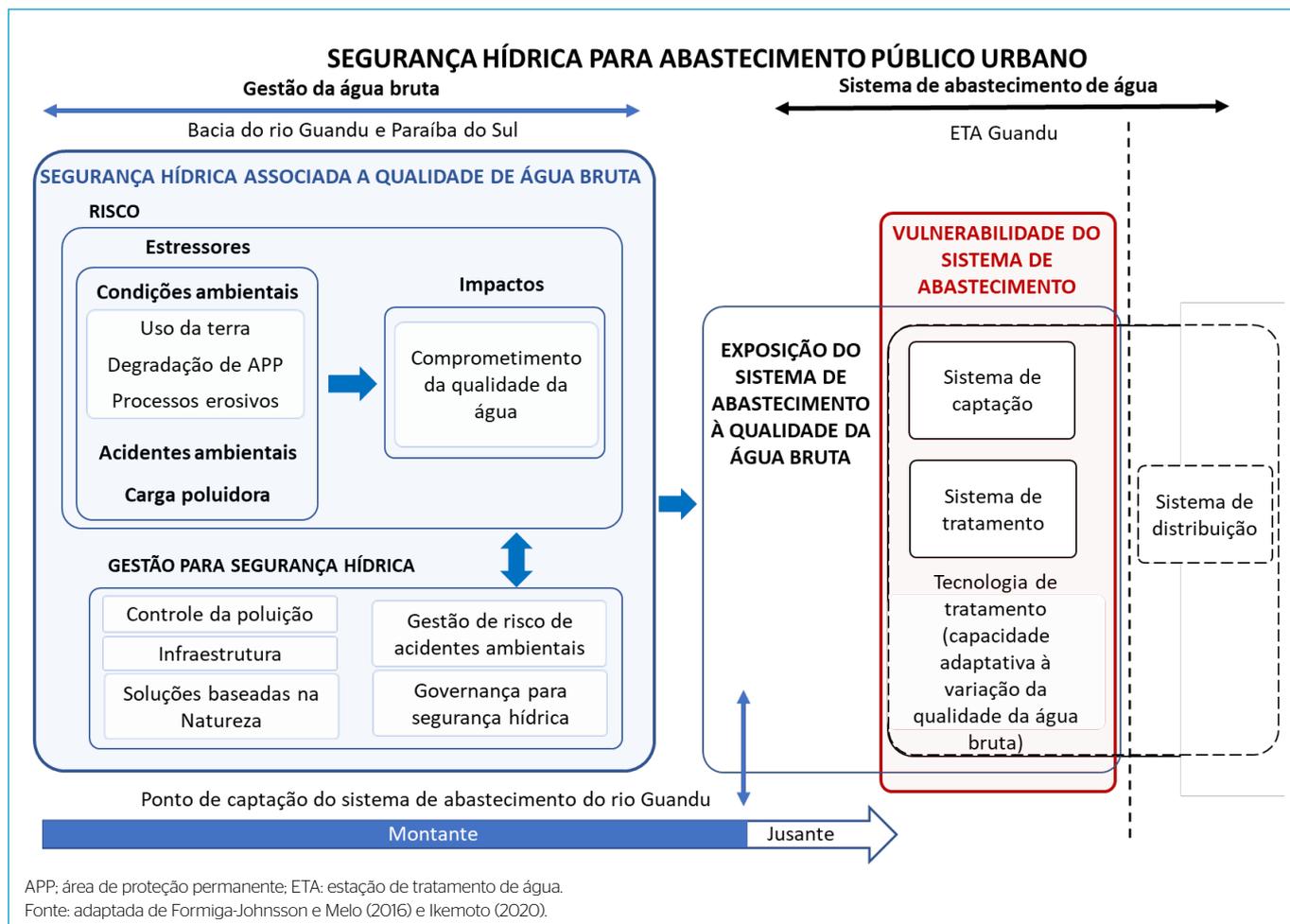


Figura 2 - Modelo analítico para avaliação do nível atual de segurança hídrica da qualidade de água bruta no ponto de captação da ETA Guandu (RJ).

Quadro 1 - Graduação qualitativa dos estressores.

Graduação do risco	Ocorrência do estressor	Severidade do impacto
Baixo	Casos raros ou isolados	Definida de acordo com os indicadores específicos (Quadro 2)
Moderado	Ocorrência irregular ou regular segundo padrões sazonais	
Alto	Ocorrência regular ou quase contínua	

Fonte: Melo (2016) adaptado por Ikemoto (2020).

Para efetuar a graduação da severidade do impacto causado ao comprometimento da qualidade da água bruta e à ETA Guandu, foram selecionados diferentes indicadores quali-quantitativos específicos a cada estressor (Quadro 2).

Impactos: avaliação do comprometimento da qualidade da água bruta

Além de determinar os riscos associados a diversos estressores, os impactos foram avaliados com base em três indicadores de comprometimento da qualidade das águas do Rio Guandu: índice de qualidade de água (IQA); percentual de amostras em desconformidade com o enquadramento do Rio Guandu (classe 2); e registro de poluentes emergentes nas águas do Rio Guandu (Quadro 3).

Graduação do risco associado à qualidade da água bruta, por estressor

Para determinar a graduação do risco para cada um dos estressores, adotou-se uma matriz que combina os três graus atribuídos tanto à ocorrência do estressor quanto à severidade do impacto remanescente, resultando em nove medidas possíveis de risco: baixo (aceitável), médio (tolerável), alto e muito alto (inaceitáveis) (Figura 3).

O nível global de segurança hídrica da ETA Guandu, em termos de qualidade das águas, é assim determinado por meio da combinação de uma avaliação qualitativa do grau de risco para cada um dos estressores selecionados. Cada risco sinaliza um nível de demanda para a gestão dos recursos hídricos: risco aceitável implica sobretudo ações preventivas e monitoramento; risco tolerável impõe ações para reduzi-lo ao nível aceitável; enquanto o risco inaceitável demanda ações urgentes para reduzir o risco ao nível aceitável ou, pelo menos, ao nível tolerável.

Quadro 2 - Estressores e indicadores selecionados para avaliar a segurança hídrica da ETA Guandu / o abastecimento público da RMRJ quanto à qualidade da água bruta.

Estressor		Indicadores	Unidade	Grau de severidade e valores de referência												
Condições ambientais	Uso e cobertura da terra	Perda de cobertura florestal	%	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Severidade do impacto</th> </tr> <tr> <td>● Baixa</td> <td>● Média</td> <td>● Alta</td> </tr> <tr> <td>Ganho de cobertura (<0)</td> <td>Estabilidade (0)</td> <td>Perda de cobertura (>0)</td> </tr> <tr> <td>>=40</td> <td>>=20 e <40</td> <td><20</td> </tr> </table> Fonte: Ikemoto e Johnsson (em elaboração)	Severidade do impacto			● Baixa	● Média	● Alta	Ganho de cobertura (<0)	Estabilidade (0)	Perda de cobertura (>0)	>=40	>=20 e <40	<20
		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	%														
	Degradação de APP	Percentual de APP hídrica conservada	%	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Severidade do impacto</th> </tr> <tr> <td>● Baixo grau de degradação</td> <td>● Moderado grau de degradação</td> <td>● Alto ou muito alto grau de degradação</td> </tr> <tr> <td>Área florestal superior a 75%</td> <td>Área florestal de 50% a 75%</td> <td>Área florestal inferior a 50%</td> </tr> </table> Fonte: Adaptado Salemene <i>et al.</i> (2011)	Severidade do impacto			● 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%			
					Severidade do impacto											
	● 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%													
Processos erosivos	Turbidez e sólidos suspensos	UNT e mg/L	Classificação de acordo com o Conama nº 357 para rios de classe 2													
Processos erosivos	Sedimentos exportados para a rede de drenagem	ton./ ano	Classificação da severidade considerando os impactos observados na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA. Valores de referência de Jordão (2017) e Barbieri <i>et al.</i> (2018)													
	Sedimentos retidos na bacia	%														
	Registro de paralisações da ETA Guandu	nº		Classificação qualitativa considerando os impactos reais na qualidade de água e na ETA												
Acidentes ambientais	Registro histórico de acidentes com produtos perigoso na região	nº	Classificação qualitativa considerando os impactos reais na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA. Valores de referência de CBH Guandu (2015)													
	Paralisação da ETA por contaminação	nº	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Severidade do impacto</th> </tr> <tr> <td>● Baixo</td> <td>● Média</td> <td>● Alta</td> </tr> <tr> <td>=0</td> <td>-</td> <td>≥1</td> </tr> </table>	Severidade do impacto			● Baixo	● Média	● Alta	=0	-	≥1				
	Severidade do impacto															
● Baixo	● Média	● Alta														
=0	-	≥1														
Elementos de risco presentes nas bacias	nº	Classificação qualitativa considerando os impactos reais na qualidade de água, na integridade dos corpos hídricos e na ETA. Valores de referência de CBH Guandu (2015)														
Carga poluidora	Índice de coleta de esgoto	%	<table border="1"> <tr> <th>Classificação</th> <th>Severidade</th> </tr> <tr> <td>● <50% (ruim)</td> <td>● Alta</td> </tr> <tr> <td>● >50 e <90% (regular)</td> <td>● Média</td> </tr> <tr> <td>● >90% (bom)</td> <td>● Baixa</td> </tr> </table> Fonte: CRHi (2010)	Classificação	Severidade	● <50% (ruim)	● Alta	● >50 e <90% (regular)	● Média	● >90% (bom)	● Baixa					
	Classificação			Severidade												
	● <50% (ruim)			● Alta												
	● >50 e <90% (regular)	● Média														
● >90% (bom)	● Baixa															
Índice de tratamento de esgoto																
Taxa de resíduos sólido coletado																
Carga orgânica doméstica lançada/gerada (kg. DBO 5,20/dia)	%															

APP: área de preservação permanente; ETA: estação de tratamento de água; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; Conama: Conselho Nacional do Meio Ambiente; CBH: comitê de bacia hidrográfica.
 Fonte: modificado de Ikemoto (2020).

SEGURANÇA DA QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA NO PONTO DE CAPTAÇÃO DA ETA GUANDU

Este item apresenta o risco resultante para cada um dos cinco estressores selecionados para avaliar a segurança dos recursos hídricos utilizados pela ETA Guandu. Todos os dados usados são secundários, com exceção de seis entrevistas semiestruturadas com técnicos especialistas para complementar determinadas informações, conduzidas em setembro e outubro de 2022. Por serem bem diversificados e terem diferentes fontes, os dados e informações empregados na classificação dos indicadores possuem períodos distintos, mas não alteram o resultado da avaliação global qualitativa.

Condições ambientais dos mananciais de abastecimento

Estressor uso e cobertura da terra

Cobertura vegetal

O nível de cobertura florestal foi medido com base nos dados do Projeto MapBiomass, Coleção 5, da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, para mata Atlântica, ano de 2020, escala 1:100.000, disponíveis no site do MapBiomass. Apesar do percentual de cobertura florestal de 45,74% da bacia do Rio Guandu em 2020, essa cobertura não é uniformemente

Quadro 3 - Parâmetros para avaliação do comprometimento da qualidade da água bruta: impactos.

Característica 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>Classificação</th> <th>Severidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>● 100 ≥ IQA_{média} ≥ 90 (Excelente)</td> <td>● Baixa</td> </tr> <tr> <td>● 90 > IQA_{média} ≥ 70 (Boa)</td> <td>● Média</td> </tr> <tr> <td>● 90 > IQA_{média} ≥ 70 (Média)</td> <td>● Média</td> </tr> <tr> <td>● 50 > IQA_{média} ≥ 25 (Ruim)</td> <td>● Alta</td> </tr> <tr> <td>● 25 > IQA_{média} ≥ 0 (Muito ruim)</td> <td>● Alta</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: INEA (2022)</p>	Classificação	Severidade	● 100 ≥ IQA _{média} ≥ 90 (Excelente)	● Baixa	● 90 > IQA _{média} ≥ 70 (Boa)	● Média	● 90 > IQA _{média} ≥ 70 (Média)	● Média	● 50 > IQA _{média} ≥ 25 (Ruim)	● Alta	● 25 > IQA _{média} ≥ 0 (Muito ruim)	● Alta
	Classificação	Severidade														
	● 100 ≥ IQA _{média} ≥ 90 (Excelente)	● Baixa														
● 90 > IQA _{média} ≥ 70 (Boa)	● Média															
● 90 > IQA _{média} ≥ 70 (Média)	● Média															
● 50 > IQA _{média} ≥ 25 (Ruim)	● Alta															
● 25 > IQA _{média} ≥ 0 (Muito ruim)	● Alta															
	Percentual do total amostras em desconformidade com enquadramento**	%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificação</th> <th>Severidade</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>● 0% (em conformidade)</td> <td>● Baixa</td> </tr> <tr> <td>● >0,1 e <25% (desconformidade ocasional)</td> <td>● Média</td> </tr> <tr> <td>● >25 e <50% (desconformidade frequente)</td> <td>● Média</td> </tr> <tr> <td>● > 50 e <80% (desconformidade muito frequente)</td> <td>● Alta</td> </tr> <tr> <td>● >80% (constante)</td> <td>● Alta</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fonte: Ikemoto (2020)</p>	Classificação	Severidade	● 0% (em conformidade)	● Baixa	● >0,1 e <25% (desconformidade ocasional)	● Média	● >25 e <50% (desconformidade frequente)	● Média	● > 50 e <80% (desconformidade muito frequente)	● Alta	● >80% (constante)	● Alta	
Classificação	Severidade															
● 0% (em conformidade)	● Baixa															
● >0,1 e <25% (desconformidade ocasional)	● Média															
● >25 e <50% (desconformidade frequente)	● Média															
● > 50 e <80% (desconformidade muito frequente)	● Alta															
● >80% (constante)	● Alta															
	Poluentes emergentes	Registro e estudos disponíveis	-	Registros dos estudos identificados na revisão sistemática												

*O índice de qualidade da água (IQA) considerado neste estudo é baseado em dados do Instituto Estadual do Ambiente de 2012 a 2021, que considera os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido (OD), potencial Hidrogênio (pH), turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos suspensos e temperatura da água; **todos os parâmetros apontados, exceto temperatura da água.

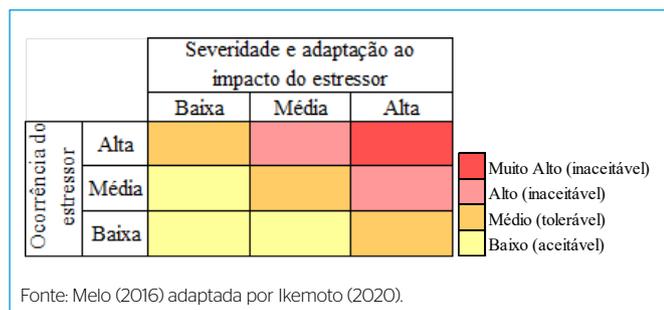


Figura 3 - Matriz de determinação do grau de risco por estressor.

distribuída no território da bacia. As margens do Rio Guandu concentram baixos percentuais de cobertura florestal, com intensa atividade agropastoril e elevada infraestrutura urbana. Por exemplo, as unidades hidrográficas de planejamento (UHPS) 6 e 7, localizadas mais próximas à ETA Guandu (Figura 4), possuem respectivamente baixo percentual de cobertura florestal (22,7 e 6,4%) e elevados percentuais de infraestrutura (28,3 e 17,5%) e de atividade agropastoril (47,2 e 70,9%).

Perda de cobertura florestal

Comparando os dados do MapBiomias de 1985 a 2020 (MAPBIOMAS, 2020), observou-se diminuição de 3,7% da cobertura florestal da bacia do Rio Guandu nesse período, somando 8.946 hectares (equivalente a 12.529 campos de futebol). Portanto, tanto a ocorrência de estressores sobre o uso e a cobertura da terra quanto a severidade dos seus impactos foram avaliadas como de média intensidade, resultando assim em risco médio. Cabe notar que, apesar de a cobertura florestal ser globalmente considerada tolerável, ela é mais escassa nas regiões próximas à ETA Guandu.

Estressor degradação de área de preservação permanente hídrica

Para verificar as condições ambientais das margens dos rios e reservatórios da bacia do Rio Guandu, definimos suas APP com base em imagens do Google Earth, atendendo às orientações do Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012). Como os

corpos d'água da bacia drenante possuem entre 30 e 80 metros de largura, a APP calculada foi de 100 metros. Para simplificar a estimativa, foi considerada a mesma APP para os reservatórios, que em alguns trechos superam 200 metros de largura.

Obteve-se uma área de cobertura florestal resultante que representa 21,4% das APP da área de estudo. No entanto, ao incluir áreas de campo alagado e área pantanosa, esse percentual aumentou para 25% da área total. Constatou-se, portanto, que a cobertura florestal da bacia do Rio Guandu é bem mais degradada nas margens dos rios do que no restante da bacia, sendo, portanto, considerada alta a ocorrência desse estressor. Quanto à severidade do impacto, estimou-se como igualmente alta. Isso resulta em um risco alto relacionado à degradação de APP hídrica, considerado inaceitável.

Estressor processos erosivos

As águas transpostas do Rio Paraíba do Sul para o Rio Guandu, na parte média da bacia do Rio Paraíba do Sul, já levam uma quantidade elevada de sedimentos, estimada em 128 mil toneladas para o ano de 2015, por Jordão (2017), e em 152 mil toneladas/ano por um estudo da WRI Brasil (BARBIERI *et al.*, 2018). Todavia, cabe ressaltar que parte desses sedimentos é retida pelos reservatórios de Santana, Vigário e Ponte Coberta, que recebem as águas da transposição, já na bacia do Rio Guandu, e se situam a montante do ponto de captação da ETA Guandu. Em estudo recente, Jordão (2017) estimou que o conjunto de reservatórios retém cerca de 60% dos sedimentos advindos da bacia do Rio Paraíba do Sul pela transposição.

Avaliando esse estressor por meio dos parâmetros de qualidade de água turbidez e sólidos dissolvidos totais, nosso estudo constatou, com dados de monitoramento do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2022), entre 2012 e 2021, que os valores se encontram conforme os limites da classe 2 de enquadramento no ponto de captação pela ETA Guandu. Portanto, não deveriam apresentar nenhum risco ou dificuldades para o tratamento de água, porém é sabido que no período chuvoso a vulnerabilidade da ETA Guandu aumenta por causa da intensa turbidez, chegando até mesmo a paralisar parcialmente a estação. Segundo Nogueira (2011), a ETA é paralisada parcialmente em média duas vezes por ano, em função do grande aporte de sedimentos no Rio Guandu. Recentemente, em 2022, a ETA teve sua capacidade de operação reduzida a 88% em dois momentos, pelo motivo de chuvas intensas (CEDAE, 2022a).

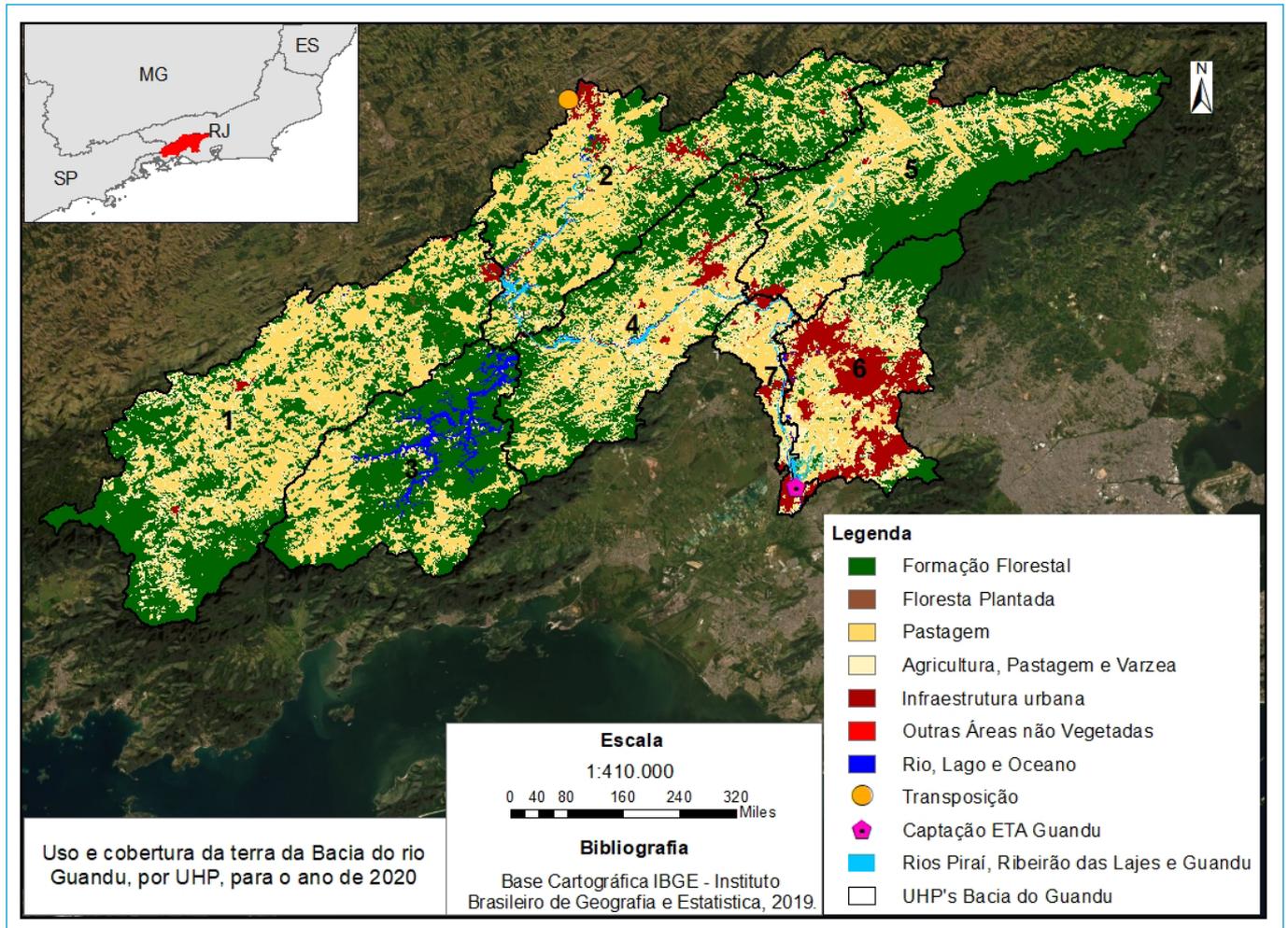


Figura 4 - Uso e cobertura da bacia do Rio Guandu subdivididos por unidades hidrográficas de planejamento para o ano de 2020.

Dado o exposto, avaliaram-se como média tanto a ocorrência do estressor como a severidade do impacto, pelo fato de os registros de paralisação ser de baixa frequência e também por não ter sido possível aferir se a população (consumidor final na ponta) chega a ser atingida por esses episódios. Logo, o risco resultante associado ao estressor processos erosivos é de média intensidade (tolerável).

Ações de gestão

Como ação do sistema de gestão de recursos hídricos, foram identificadas várias ações de reflorestamento, bem como programas Pagamento por Serviços Ambientais, na bacia do Rio Guandu, envolvendo principalmente iniciativas do Comitê Guandu e do Inea (CBH GUANDU, 2021; CEDAE, 2021), contudo eles claramente ainda não foram suficientes para mitigar o problema, que continua grave.

Estudos de Barbieri *et al.* (2018) concluíram que a restauração florestal de 3 mil hectares de pastagens com elevado grau de erosão na bacia do Rio Guandu (concentrados nos municípios Miguel Pereira e Rio Claro) reduziria em 33% o escoamento de sedimentos para os cursos d'água. Por sua vez, o Atlas Mananciais, desenvolvido pelo Inea (2018a), identificou e mensurou as áreas prioritárias para fins de restauração na bacia do Guandu, muitas sendo margens de rios e de nascentes.

Acidentes ambientais

A análise dos acidentes ambientais baseou-se no Plano de Contingência para Abastecimento de Água (CBH GUANDU, 2015), que abrange a região de estudo, e no Diagnóstico dos Acidentes Ambientais no Estado do Rio de Janeiro: 1983-2016 (INEA, 2018b). Ambos têm como foco principal situações de acidentes de fontes fixas e móveis, tanto no Médio Paraíba do Sul quanto na bacia do Rio Guandu, que possam gerar poluição acidental, atingindo mananciais superficiais, e afetar captações utilizadas para abastecimento público.

O estudo do Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH) Guandu (2015) aponta que os municípios com maior vulnerabilidade à contaminação acidental de seus mananciais são: Volta Redonda (19,4%), por causa da concentração industrial; Pirai (14,0%), em consequência da maior exposição a acidentes rodoviários; e Nova Iguaçu (11,8%), pela elevada carga difusa. Somente este último município se situa na bacia do Guandu, confirmando a concentração de vulnerabilidade na porção média da bacia do Rio Paraíba do Sul.

Entre os acidentes ambientais das últimas décadas no Rio Paraíba do Sul, o pior foi o derramamento do inseticida Endossulfan pela empresa Servatis, em 2008 (VIANA; FORMIGA-JOHNSON; STRAUCH, 2012; CBH GUANDU, 2015). Esse episódio evidencia o quanto a transposição serve também como proteção para a ETA Guandu/abastecimento da metrópole do Rio de Janeiro em caso

de acidentes graves na bacia do Rio Paraíba do Sul (FORMIGA-JOHNSSON; BRITTO, 2020). Entretanto, quando o acidente ocorre na bacia do Rio Guandu, não há como eliminar o risco de impactar a estação, a exemplo da paralisação total em 2020, em função da contaminação por surfactantes (CEDAE, 2020).

Ao todo, foram registrados 175 acidentes ambientais envolvendo produtos perigosos na região de estudo, no período entre 2000 e 2013, e ainda identificados 21 elementos de alto risco para as águas dos rios Paraíba do Sul e Guandu (CBH GUANDU, 2015). Por essas razões, mesmo avaliando como alta a severidade do impacto de acidentes ambientais potenciais, estimou-se como média a probabilidade de ocorrência de impactos para a qualidade de água no ponto de captação da ETA Guandu, o que resulta em alto risco.

Em termos de gestão, destaca-se sobretudo a definição de 96 ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação para acidentes ambientais no Médio Paraíba do Sul e na bacia do Rio Guandu, no escopo do plano de contingência, por iniciativa e financiamento do comitê Guandu.

Carga poluidora

Apesar do alto percentual de coleta de resíduos sólidos (96,23%), constatou-se grave deficiência de coleta e sobretudo de tratamento de esgoto na bacia do Rio Guandu (48,95 e 5,15%, respectivamente); estimou-se, em 2019, que 94,97% da carga orgânica gerada era lançada sem tratamento no sistema de drenagem da bacia (CBH GUANDU; PROFILL; TSA, 2019).

O tópico seguinte apresenta, com detalhes, a qualidade das águas do Rio Guandu, focando na situação das bacias drenantes à Lagoa do Guandu, imediatamente a montante do ponto de captação da ETA Guandu (bacias dos rios Queimados, Ipiranga e dos Poços), que se localizam na UHP 6 nos municípios

de Japeri, Queimados e Nova Iguaçu. Estes, por sua vez, apresentam as maiores cargas orgânicas lançadas na rede de drenagem (75,3%) e, conseqüentemente, as menores taxas de coleta e tratamento de esgoto da bacia. Como resultado, os rios mais poluídos da bacia são aqueles que deságuam na Lagoa do Guandu (Poços e Queimados), sendo classificados como de classe 4 (a pior) para quatro parâmetros do IQA (ANA, 2021). Esse estressor é, portanto, de alta ocorrência e alta severidade de impacto, gerando um risco inaceitável, de intensidade muito alta.

Esse diagnóstico confirma a gravidade da poluição das águas no ponto de captação da ETA Guandu, o que terminou provocando uma crise hídrica sem precedentes nos verões de 2020 e 2021, com forte impacto no consumidor final do Sistema Guandu. As medidas de gestão discutidas e planejadas para o enfrentamento desses problemas são indicadas adiante.

COMPROMETIMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA: IMPACTOS

O comprometimento da qualidade da água bruta na bacia do Rio Guandu foi avaliado por meio de três indicadores: IQA, percentual de amostras em desconformidade com o enquadramento (classe 2) e registro de poluentes emergentes nas águas do Rio Guandu.

Panorama global de qualidade das águas do manancial: índice de qualidade da água

As águas transpostas do Rio Paraíba do Sul entram no Sistema Guandu com qualidade média (IQA = 59,6, estação SC200), no entanto há melhora substancial da sua qualidade no ponto Ribeirão das Lajes (IQA = 72,8,

Tabela 1 - 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 às respectivas distâncias das estações de coleta à ETA.

Estação/ Rio/ Referência	Distância até a ETA (km)**	Vazão média (m³/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	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	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	3,89	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		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

*Afluente do Rio Guandu; **calculado por meio do Google Earth, com dados do Instituto Estadual do Ambiente (2022); ETA: estação de tratamento de água; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; IQA: índice de qualidade de água.
Fonte: elaborado com base nos dados do Instituto Estadual do Ambiente (2022).

estação LG350), influenciada provavelmente pelas águas da represa de Ribeirão das Lajes. A qualidade no ponto de captação da ETA Guandu, mais a jusante na bacia, apresenta piora substancial (IQA = 63,6 na estação GN200), em função da mistura das águas do Rio Guandu com seus afluentes altamente poluídos (rios Poços e Queimados) que desembocam na Lagoa do Guandu (Tabela 1).

A qualidade ruim e muito ruim das águas dos afluentes que deságuam no ponto de captação da ETA Guandu se deve sobretudo à precariedade da estrutura sanitária local, com baixo nível de coleta e tratamento de esgoto, conforme apontado no item anterior, além de remanescentes de efluentes industriais e resíduos sólidos (TUBBS; ANTUNES; VETORAZZI, 2012).

Qualidade da água do manancial no ponto de captação da estação de tratamento de água Guandu

Observaram-se violações do enquadramento classe 2 para os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), pH e turbidez das amostras na estação GN200 (ponto de captação da ETA Guandu), para o período entre 2012 e 2021, classificadas como desconformidade ocasional, por ser abaixo de 25% das amostras. Já o parâmetro fósforo total apresentou desconformidade regular (38,6%), enquanto coliformes termotolerantes, desconformidade a maior parte do tempo (81,6%). A Tabela 2 resume a situação global de desconformidade do Rio Guandu em relação a oito parâmetros poluidores, na estação GN200.

Avaliando a situação da qualidade da água no ponto de captação quando das crises hídricas em janeiro dos anos de 2020 e 2021, constatou-se que a estação GN200 teve o pior resultado dos últimos nove anos nos valores de fósforo

total (0,72 mg/L) e temperatura do ar (35°C) (Figuras 5 e 6), o que pode ter agravado a crise hídrica dos verões de 2020 e 2021.

Poluentes emergentes

Além dos problemas graves de qualidade da água em relação aos parâmetros que compõem o IQA, é preciso ressaltar um agravante da qualidade de água captada pela ETA Guandu não considerado nesse índice: os poluentes emergentes.

Poluentes emergentes podem ser entendidos como qualquer produto químico sintético ou de ocorrência natural, ou ainda qualquer microrganismo que não seja comumente monitorado ou regulado no meio ambiente, que possa provocar efeitos adversos ecológicos e à saúde humana (UNESCO, 2022). Esses contaminantes incluem principalmente produtos químicos encontrados em produtos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, pesticidas, produtos industriais e domésticos, metais, surfactantes, aditivos industriais e solventes. Muitos deles são usados e liberados continuamente no meio ambiente, mesmo em quantidades muito baixas, e alguns podem causar toxicidade crônica, desregulação endócrina em humanos e animais selvagens aquáticos e desenvolvimento de resistência bacteriana a patógenos (UNESCO, 2022).

Estudos identificados na revisão sistemática desta pesquisa apontam a presença de poluentes emergentes nas águas dos rios Guandu e Paraíba do Sul: Gonçalves (2012), Reimann (2013), De Araújo (2015), Dias *et al.* (2015), Gomes *et al.* (2015), Licurgo, Silva e Bila (2016), Fernandes (2018), Sacramento *et al.* (2020) e Cristofaro *et al.* (2021). Eles registram a ocorrência principalmente de fármacos, dimetil ftalato (DMP), bis(2-etil-hexil) ftalato (DEHP), 4-octilfenol (4-OP) e 4-nonilfenol (4-NP), cafeína, bisfenol-A, glifosato, hormônios (estrona,

Tabela 2 - Percentual de amostras em desconformidade com o enquadramento para classe 2 na estação GN200 do Rio Guandu, entre 2012 e 2021.

Estação GN200	Demanda bioquímica oxigênio	Fósforo total	Nitrato	Oxigênio dissolvido	pH	Turbidez	Coliformes termotolerantes	Sólidos dissolvidos totais
% de amostras em desconformidade	1	38,6	0	1	51	21	81,6	0
Total amostras	101	101	95	100	99	95	98	101
Total amostras em desconformidade	1	39	0	1	5	2	80	0

Classificação de resultados	Em conformidade	Desconformidade ocasional	Desconformidade regular	Desconformidade frequente	Quase constante
% amostras em desconformidade	0	≥ 0,1 e < 25	≥ 25 e < 50	≥ 50 e < 80	≥ 80

Fonte: elaborado com base nos dados do Instituto Estadual do Ambiente (2022).

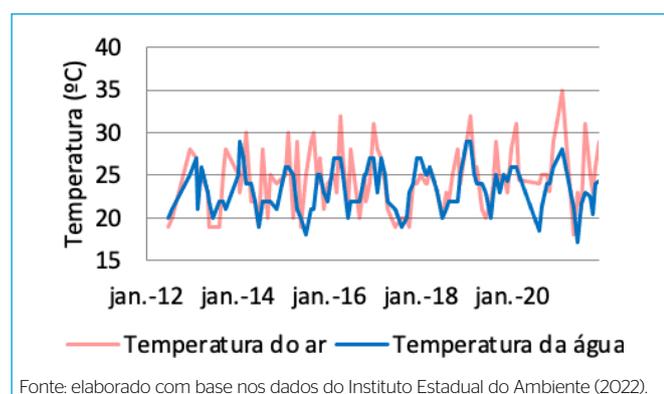


Figura 5 - Temperatura do ar e da água na estação GN200.

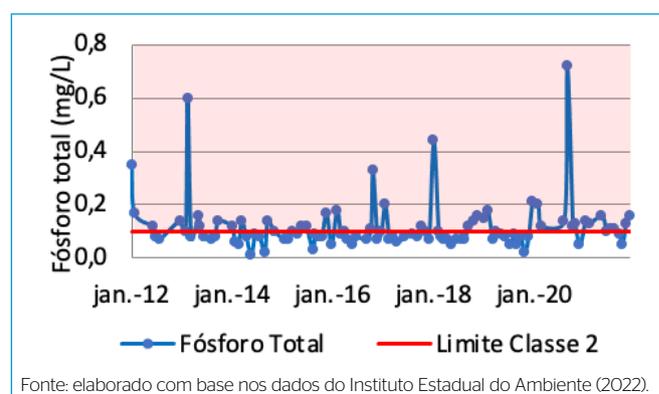


Figura 6 - Ocorrência de fósforo total na estação GN200.

estriol, 17 α -etinil estradiol e 17 β -estradiol), bem como marcadores de atividades estrogênica, citotóxica, cancerígena e genotóxica em organismos vivos.

No Brasil, o controle e a 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), contudo essa portaria não abrange a maioria dos poluentes emergentes encontrados na região de estudo, exceto o DEHP e o glifosato, sendo assim difícil mensurar a severidade e a ocorrência deste poluente.

SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Riscos à segurança da qualidade das águas captadas pela estação de tratamento de água Guandu

O risco final estimado para a qualidade da água no ponto de captação do sistema Guandu foi considerado: muito alto ou inaceitável quanto aos estressores carga poluidora, degradação de APP; alto ou inaceitável para o estressor acidentes

		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)

Figura 7 - Matriz de determinação do grau de risco associado a cada estressor.

ambientais; e médio ou tolerável em relação aos estressores uso e cobertura da terra e processos erosivos na bacia do Guandu. A Figura 7 reúne os resultados globais dos estressores em uma única matriz.

Para visualizar rapidamente como foram determinados os riscos indicados, o Quadro 4 sumariza os resultados da avaliação dos indicadores que compõem cada um dos estressores.

Finalmente, o Quadro 5 resume os resultados quanto ao comprometimento da qualidade da água bruta no ponto de captação da ETA Guandu.

Tendo avaliado o alto risco associado aos estressores para a qualidade da água do Rio Guandu e constatado o comprometimento desse manancial ao qual está exposta a ETA Guandu, o próximo item discutirá aspectos relacionados à vulnerabilidade e capacidade de adaptação da estação de tratamento.

Vulnerabilidade/capacidade adaptativa da estação de tratamento de água Guandu

Pode-se afirmar que tanto o sistema de captação quanto o sistema de tratamento da ETA Guandu são fortemente vulneráveis aos problemas de qualidade da água do manancial.

Os graves problemas de qualidade dos recursos hídricos representam uma ameaça à segurança da qualidade de água tratada pela ETA Guandu, que utiliza o método convencional de tratamento. Essa é também a conclusão do estudo Atlas Águas (ANA, 2021), que aponta não ser suficiente esse tipo de tratamento para garantir a qualidade da água requerida para abastecimento urbano pela ETA Guandu, sendo necessárias tecnologias de tratamento avançado.

De acordo com os últimos relatórios de monitoramento da qualidade da água tratada pela ETA Guandu, a qualidade em geral atende aos parâmetros de potabilidade da Portaria nº 888, de 2021 (CEDAE, 2023), mas crises recentes expuseram a gravidade da situação. Nos verões dos anos de 2020 e 2021, o consumidor final do Sistema Guandu se viu impactado diretamente pela qualidade

Quadro 4 - Síntese dos resultados da avaliação do risco associado aos estressores por indicador.

Estressor		Indicadores		Valor	Ocorrência do estressor		Severidade do impacto		
Condições ambientais	Uso e cobertura da terra	Perda de cobertura florestal		●	-3,70%	●	Alta	●	Alta
		Percentual de cobertura florestal		●	45,74%	●	Baixa	●	Baixa
		Percentual de cobertura florestal próximo à captação ETA Guandu	UHP 6	●	22,70%	●	Média	●	Média
			UHP 7	●	6,40%	●	Alta	●	Alta
	Degradação de APP	Percentual de APP hídrica conservada		●	25,00%	●	Alta	●	Alta
	Processos erosivos	Turbidez e sólidos suspensos		●	2,1% e 0%	●	Baixa	●	Baixa
		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 de paralisação da ETA		●	2/ano	●	Alta	●	Média	
	Registro histórico de acidentes com produtos perigosos na região		●	175	●	Alta	●	Baixa	
	Paralisação da ETA por contaminação		●	1	●	Baixa	●	Alta	
Carga poluidora	Elementos de alto risco presentes na bacia		●	21	●	Média	●	Alta	
	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	

APP: área de preservação permanente.

*Jordão (2017) e Barbieri et al. (2018).

Quadro 5 - Comprometimento da qualidade da água na bacia do Rio Guandu e no ponto de captação da estação de tratamento de água Guandu.

Característica 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		
			Poluentes emergentes	Registro e estudos disponíveis	Coliformes		
	Fósforo total	●			38,60		
	pH	●			5,10		
	Turbidez	●			2,10		
	OD	●			1		
	DBO	●			1		
	Nitrato	●			0		
	SDT	●	0				
Poluentes emergentes		Registro e estudos disponíveis	-	-	-		

SDT: sólidos dissolvidos totais.

da água tratada distribuída, que apresentava alta turbidez, odor e sabor desagradáveis; esses episódios foram principalmente atribuídos à ocorrência de composto químico produzido por microrganismos (geosmina e 2-MIB) (XAVIER, 2020; KLIGERMAN; SANCANARI; NOGUEIRA, 2021; SOTERO-MARTINS *et al.*, 2021). Para Formiga-Johnsson e Britto (2020), essa crise foi surpreendente, depois de a ETA Guandu ter demonstrado alta capacidade adaptativa relacionada à seca de 2014-2015 na bacia Paraíba do Sul. Na época, a diminuição drástica da vazão do Rio Guandu e a consequente piora da qualidade das suas águas foram enfrentadas pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae) com manobras/adaptações do sistema de captação e forte aumento do volume de produtos químicos, evitando assim impactos nos consumidores finais do Sistema Guandu (VASCONCELOS; FORMIGA-JOHNSSON; RIBEIRO, 2019).

Ao longo das décadas, o ponto de captação da estação vem sofrendo com a poluição progressiva dos rios Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga, que deságuam na Lagoa do Guandu. Esta termina sendo um amortecedor da poluição, tal qual uma lagoa de estabilização (COELHO, 2008; KLIGERMAN; SANCANARI; NOGUEIRA, 2021; OTTONI; OTTONI, 2022), mas tem suscitado outros problemas. O lodo depositado ao longo dos anos não tem sido removido, fazendo com que a altura do espelho de água da lagoa venha diminuindo. Em consequência, além de a área da lagoa aumentar de tamanho, ela se torna um local propício à proliferação de algas, por causa da alta carga de nutrientes que recebe, da baixa taxa de renovação hídrica, além da presença de luz e calor (KLIGERMAN; SANCANARI; NOGUEIRA, 2021).

Todavia, é notória a dificuldade com que as autoridades do setor de saneamento e da gestão dos recursos hídricos lidam com esse problema, já que

propostas de solução se sucedem ao longo dos anos e levantam muitas dúvidas e polêmicas, tais como o desvio dos rios poluídos Poços, Queimados e Ipiranga da Lagoa do Guandu (em discussão há cerca de 30 anos) e até mesmo a construção de unidades de tratamento de rios (COELHO *et al.*, 2012; PERHI, 2014; PDUI, 2018; ANA, 2019; FORMIGA-JOHNSSON; BRITTO, 2020; ANA, 2021; OTTONI; OTTONI, 2022). Até hoje, ainda não há uma proposta de solução que tenha sido levada adiante na sua implantação, ressaltando que a solução definitiva seria o saneamento da área montante da lagoa, incluindo de fontes remanescentes de poluição industrial.

No seu plano de bacia, o comitê Guandu estimou ser necessário um investimento de 1,4 bilhão de reais até 2042 para o saneamento básico da bacia do Rio Guandu (CBH GUANDU; PROFILL, 2018), porém somente para os municípios de Nova Iguaçu e Queimados, que mais poluem os afluentes do Guandu, seria necessário investir 776 milhões de reais (KLIGERMAN; SANCANARI; NOGUEIRA, 2021). Iniciativas concretas para o saneamento da bacia já estão em andamento, sobretudo o financiamento dos projetos básicos de coleta e tratamento de esgotos de todos os municípios da bacia, por parte do comitê Guandu, entretanto sua implementação e resultados somente serão observados a médio e longo prazos, até mesmo porque ainda não foi equacionado o financiamento da implantação das obras.

CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo geral avaliar o nível 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.

Os estudos realizados por meio do modelo adaptado permitiram identificar e avaliar, de forma sistêmica, as principais questões que envolvem a qualidade da água no ponto de captação.

De modo geral, a bacia hidrográfica do Rio Guandu encontra-se fortemente vulnerável e acima dos limites críticos para o estressor carga poluidora, associado principalmente ao baixo índice de coleta e tratamento de esgoto. Importa ressaltar que as águas transpostas do Rio Paraíba Sul para a bacia do Guandu são bem poluídas, no entanto essa poluição é consideravelmente reduzida antes de chegar ao ponto da captação, conforme evidenciado pelo IQA entre 2012 e 2021. Os problemas relacionados à Lagoa do Guandu são os de maior gravidade, 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. É ainda mais grave a dificuldade de resolver ou mitigar esse problema por parte das instituições diretamente envolvidas, cuja decisão de solução se arrasta há décadas.

Quanto às condições ambientais da bacia do Rio Guandu, o risco mais alto está associado às APPs hídricas (de margens de rios), que são fortemente degradadas. Embora os valores globais da cobertura vegetal na bacia sejam considerados satisfatórios, com risco global considerado de média intensidade, as áreas drenantes mais próximas do ponto de captação têm baixo percentual

de cobertura vegetal. Já o estressor processos erosivos teve risco estimado de média graduação.

No que se refere ao estressor acidentes ambientais de fontes fixas e móveis, seu risco à qualidade das águas dos rios Paraíba do Sul e Guandu foi avaliado como de alta intensidade, mesmo com média probabilidade de ocorrência, pois os impactos podem ser desastrosos. Trata-se, portanto, de um ponto importante de atenção para a gestão da bacia.

Por fim, o registro da ocorrência de poluentes emergentes nas águas dos rios Paraíba do Sul e Guandu por parte de pesquisadores suscita preocupações com a qualidade da água distribuída, já que o tratamento convencional de ETA não possui capacidade de remoção total dessas substâncias, fazendo com que o residual pós-tratamento possa ser ainda relevante. Esses poluentes não são monitorados de maneira sistemática no manancial nem na água tratada, tampouco existe obrigação legal para tanto, embora apresente risco considerável à saúde pública e ecossistêmica.

Em suma, este trabalho evidencia que é alto o risco à segurança da qualidade dos recursos hídricos no ponto de captação da ETA Guandu e que esta é vulnerável em termos de capacidade de tratamento das águas de manancial tão poluído.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Xavier de Paula, I.: Escrita — Primeira Redação, Conceituação, Curadoria de Dados, Metodologia, Investigação, Análise Formal. Formiga-Johnsson, R.M.: Escrita — Revisão e Edição, Conceituação, Metodologia, Obtenção de Financiamento, Administração do Projeto, Supervisão, Validação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação*. Brasília: ANA e Gerência Geral de Estratégia, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Plano Nacional de Segurança Hídrica*. Brasília: ANA e Ministério da Integração Nacional, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Águas. Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano*. Brasília: ANA, 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, 2018.
- BRAGA, B.; KELMAN, J. Facing the challenge of extreme climate: the case of Metropolitan São Paulo. *Water Policy*, v. 18, supl. 2, p. 52-69, 2016. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.113>
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 15 maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. *Diário Oficial da União*, Brasília, 15 maio 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o [...] 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, 2021.
- BRITTO, A.L.; FORMIGA-JOHNSSON, 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. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150159R1V1912016>
- COELHO, F.; AZEVEDO, J.P.S.; JÚNIOR, I.; COMITÉ GUANDU. Análise multicritério de propostas para a melhoria da qualidade da água captada para abastecimento da Região Metropolitana oeste do Rio de Janeiro. In: INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Bacia hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: experiências para a gestão dos recursos hídricos*. Rio de Janeiro: Inea, 2012. p. 61-77.
- COELHO, F.M. *Avaliação de propostas para a garantia do abastecimento de água da região metropolitana oeste do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- COMITÉ DA BACIA HIDROGRÁFICA DE GUANDU (CBH GUANDU). *Apresenta a notícia: Produtores de Rio Claro vão receber quase 400 mil reais em Pagamentos Por serviços Ambientais*. Rio de Janeiro: CBH Guandu, 27 set. 2021. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/2021/09/27/comite-guandu-rj-inicia-campanha-de-conscientizacao-contra-incendios-florestais/>. Acesso em: 2 nov. 2022.
- COMITÉ DA BACIA HIDROGRÁFICA DE GUANDU (CBH GUANDU). *Relatório final. Plano de contingência para abastecimento de água (Guandu)*. Londrina: DRZ Gestão e Consultoria, 2015.

- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DE GUANDU (CBH GUANDU); PROFILL. *Complementação e finalização do plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do PIRH-PS e elaboração dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas afluentes*. Produto Parcial 01. Plano de Trabalho. 2018.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DE GUANDU (CBH GUANDU); PROFILL; 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.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Apresenta a notícia: Cedae planta 1 milhão de árvores às margens do Guandu*. Rio de Janeiro: Cedae, 22 set. 2021. Disponível em: <https://cedae.com.br/noticias/detalhe/cedae-planta-1-milhao-de-arvores-as-margens-do-guandu/id/1068>. Acesso em: 2 dez. 2022.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Apresenta a notícia: Cedae retoma produção na ETA Guandu*. Rio de Janeiro: Cedae, 2020. Disponível em: <https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/cedae-retoma-producao-na-eta-guandu/id/408>. Acesso em: 13 out. 2022.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Apresenta a notícia: fortes chuvas reduzem produção de água na ETA Guandu*. Rio de Janeiro: Cedae, 2022a. Disponível em: <https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/fortes-chuvas-reduzem-producao-de-agua-na-eta-guandu/id/1203>. Acesso em: 3 out. 2022.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Apresenta informações sobre: Novo Guandu*. Rio de Janeiro: Cedae, 2022b. Disponível em: <https://cedae.com.br/novoguandu>. Acesso em: 5 out. 2022.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Apresenta informações sobre: Qualidade da Água. Relatórios Guandu, 2023*. Disponível em: <https://cedae.com.br/relatoriosguandu>. Acesso em: 5 mar. 2023.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (CEDAE). *Livreto Guandu*. Rio de Janeiro: Cedae, 2022c. Disponível em: http://www.cedae.com.br/portals/O/livreto_guandu.pdf. Acesso em: 26 abr. 2022.
- COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS (CRHI). *Releitura dos Indicadores para Gestão de Recursos Hídricos 2010*. São Paulo: SMASP, 2010. 322 p. Relatório Técnico.
- 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. *Ambiente & Água*, v. 16, n. 1, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2615>
- DE ARAÚJO, 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, Rio de Janeiro, 2015.
- DE NYS, E.; ENGLE, N.; MAGALHÃES, A.R. *Drought in Brazil: proactive management and policy*. Boca Raton: CRC Press, 2016. 230 p.
- DIAS, A.C.; GOMES, F.W.; BILA, D.M.; SANTANNA, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jecoenv.2015.05.013>
- FERNANDES, J.G. *Ocorrência de poluentes emergentes nos Rios Pirai, Paraíba do Sul, Guandu e na água de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- FORMIGA-JOHNSON, R.M.; BRITTO, A.L. Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, p. 2-21, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020L6TD>
- FORMIGA-JOHNSON, R.M.; LEMOS, M.C.; SOUZA FILHO, F.A. Segurança hídrica e capacidade adaptativa urbana e metropolitana em tempos de mudanças climáticas. In: PHILIPPI JR., A.; SOBRAL, M.C. (orgs.). *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. São Paulo: Minha Editora, 2019. p. 427-459.
- FORMIGA-JOHNSON, R.M.; MELO, M. *Modelo conceitual e metodológico para análise qualitativa da segurança hídrica no abastecimento público de áreas urbanas*. Relatório de circulação restrita do Grupo de Pesquisa "Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais". Rio de Janeiro, 2016. 19 p.
- 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. *Ambiente & Água*, v. 10, n. 1, p. 48-58, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1487>
- 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, Niterói, 2012.
- 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.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Atlas dos mananciais de abastecimento público do estado do Rio de Janeiro*. Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro: Inea, 2018a. Disponível em: http://www.inearj.gov.br/wpcontent/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf. Acesso em: 8 set. 2022.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Diagnóstico dos acidentes ambientais no Estado do Rio de Janeiro, 1983-2016: enfoque no transporte rodoviário de produtos perigosos*. Rio de Janeiro: Inea, 2018b. 136 p. Disponível em: <http://www.inearj.gov.br/wpcontent/uploads/2019/01/Diagn%C3%B3stico-dos-Acidentes-Ambientais-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro-1983-2016.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Qualidade das Águas da Região Hidrográfica II*. Rio de Janeiro: Inea, 2022. Disponível em: <http://www.inearj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrograficas/>. Acesso em: 24 out. 2022.
- JORDÃO, M.D. *Influência da transposição de bacias do Paraíba do Sul-Pirai-Guandu na descarga de sólidos suspensos para a Baía de Sepetiba*. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 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. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, n. 6, e00234420, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00234420>

LEMOS, M.C.; PUGA, B.P.; FORMIGA-JOHNSSON, 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, n. 53, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01636-3>

LICURGO, F.M.; SILVA, A.A.; BILA, D.M. Avaliação de contaminantes emergentes no rio Guandu, estado do Rio de Janeiro (Brasil). In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, 2016. *Anais...* Rio de Janeiro, 2016.

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, Rio de Janeiro, 2016.

MELO, M.C.; FORMIGA-JOHNSSON, R.M.; AZEVEDO, J.P.; NASCIMENTO, N.O.; MACHADO, F.L.; PACHECO, F.A.; FERNANDES, L.F. A raw water security risk model for urban supply based on failure mode analysis. *Journal of Hydrology*, v. 593, 125843, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125843>

MAPBIOMAS. *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.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. v. 2.

NOGUEIRA, M.A. *Variabilidade climática, disponibilidade hídrica e ETA Guandu: uma análise qualitativa de vulnerabilidade*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). *Apresenta informações sobre: emerging pollutants in water and wastewater*. Unesco. Disponível em: <https://en.unesco.org/emergingpollutantsinwaterandwastewater>. Acesso em: 15 out. 2022.

OTTONI, A.B.; OTTONI, M. Sustentabilidade ambiental e segurança hídrica para o abastecimento de água do Rio de Janeiro: proposta de solução técnica emergencial para a revitalização da Lagoa do Guandu. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 9, n. 22, p. 545-559, 2022. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2022\)092201](https://doi.org/10.21438/rbgas(2022)092201)

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (PERHI). *Relatórios gerencial e síntese*. Rio de Janeiro: Inea, Fundação Coppetec/UFRJ, 2014.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO URBANO INTEGRADO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (PDUI). Rio de Janeiro: Consórcio Quanta Jaime Lerner Arquitetos Associados, Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro, 2018. 2 v.

REIMANN, M.M.; SANTOS, N.M.; FARINELLE, C.A.; ARNÓBIO, A.; SALLES, C.M.; SALLES, J.B. Biomonitoramento indica poluição do rio guandu por compostos cancerígenos. *Acta Scientiae & Technicae*, v. 1, n. 2, p. 29-36, 2013. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v1i2.39>

SACRAMENTO, E.B.; AZEVEDO, C.A.; ABREU, S.T.; BORDA, H.R.; LIMA, V.M. Avaliação do potencial citotóxico e genotóxico de águas da Bacia do rio Paraíba do Sul-RJ através do sistema teste *Allium cepa*. *Ambiente & Água*, v. 15, n. 3, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2521>

SALAMENE, S.; FRANCELINO, M.R.; VALCARCEL, R.; LANI, J.L.; SÁ, M.M. Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do Rio Guandu/RJ. *Revista Árvore*, v. 35, n. 2, p. 221-231, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000200007>

SOTERO-MARTINS, A.; CARVAJAL, E.; SANTOS, J.A.A.; MOURA, P.G.; HANDAM, N.B.; KOTOWSKI-FILHO, N.P.; JARDIM, R. Events linked to Geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB) in a Water Supply Source in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a case study. 2021. <https://doi.org/10.1590/SciELOpreprints>

SOUZA FILHO, F.A.; FORMIGA-JOHNSSON, R.M.; STUDART, T.M.; ABICALIL, M.T. From drought to water security: Brazilian experiences and challenges. In: WORLD WATER FORUM (org.). *Global water security*. Cingapura: Springer, 2018. p. 233-265.

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*. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2012.

VASCONCELOS, N.A.; FORMIGA-JOHNSSON, R.M.; RIBEIRO, N.B. Impactos da crise hídrica 2014-2016 sobre os usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 16, n. 2019, e14, 2019. <https://doi.org/10.21168/rega.v16e14>

VIANA, V.J.; FORMIGA-JOHNSSON, 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, 2012.

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.

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

