



Universidade Estadual de Goiás

Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo

Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado

RODRIGO DA COSTA ANDRADE

# **IMPACTO AMBIENTAL DE LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS EM RECURSOS HÍDRICOS**

Anápolis

2022

RODRIGO DA COSTA ANDRADE

**IMPACTO AMBIENTAL DE LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS EM  
RECURSOS HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Luiz Borges

Anápolis

2022

Andrade, Rodrigo da Costa

IMPACTO AMBIENTAL DE LIXÕES E ATERROS  
SANITÁRIOS EM RECURSOS HÍDRICOS/ Rodrigo da Costa  
Andrade. – 2022  
96 f.: figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Luiz Borges

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação  
Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais do Cerrado -  
RENAC) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Anápolis  
CET, 2022.

Bibliografia.

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD/UEG)

Na qualidade de titular dos direitos de autor / autora, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do autor / autora.

### Dados do autor (a)

Nome Completo: Rodrigo da Costa Andrade

E-mail: rodrigoandrade15.ra2@gmail.com

### Dados do trabalho

Título: **IMPACTO AMBIENTAL DE LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS  
EM RECURSOS HÍDRICOS**

### Tipo

( ) Tese ( x ) Dissertação

Curso/Programa: RENAC - RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

### Concorda com a liberação documento

[ x ] SIM

[ ] NÃO

### Assinalar justificativa para o caso de impedimento e não liberação do documento:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

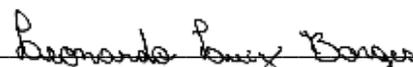
- ❖ Período de embargo é de **um ano** a partir da data de defesa, prorrogável por mais um ano.
- ❖ Em caso de não autorização, o período de embargo será de **até um ano** a partir da data de defesa, caso haja necessidade de exceder o prazo, deverá ser apresentado formulário de solicitação para extensão de prazo para publicação devidamente justificado, junto à coordenação do curso.

Anápolis, 25/05/2022.

RODRIGO DA COSTA  
ANDRADE:83527036  
172

Assinado de forma digital por RODRIGO DA  
COSTA ANDRADE:83527036172  
DN: c=BR, o=ICP-Brasil, ou=presencial,  
ou=00489828000317, ou=Secretaria da Receita  
Federal do Brasil - RFB, ou=ARMPDG, ou=RFB e-  
CPF-A3, cn=RODRIGO DA COSTA  
ANDRADE:83527036172  
Dados: 2022.05.26 14:52:39 -03'00'

Assinatura autor (a)

  
Assinatura do orientador (a)

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**

**ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO Nº 121/2022**

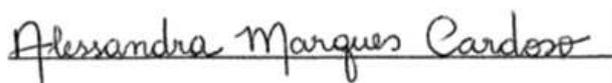
Aos 19 dias do mês de Maio do ano de 2022, às 08h30min, reuniu-se no auditório do bloco IV do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo da UEG, a banca Examinadora composta pelos: Dr. Leonardo Luiz Borges (Universidade Estadual de Goiás), Dra. Solange Xavier dos Santos (Universidade Estadual de Goiás), Dra. Alessandra Marques Cardoso (Pontifícia Universidade Católica de Goiás), para sob a presidência do primeiro, procederem à “defesa de Mestrado” intitulada: Impacto Ambiental de Lixões e Aterros Sanitários em Recursos Hídricos, de Rodrigo da Costa Andrade, discente do PPG Recursos Naturais do Cerrado, nível mestrado. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de dissertação de autoria do(a) discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

Membro da Banca	Aprovado	Reprovado
Dr. Leonardo Luiz Borges	X	
Dra. Solange Xavier dos Santos	X	
Dra. Alessandra Marques Cardoso	X	

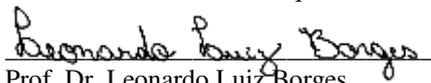
Justificativas e sugestões: acatar as sugestões da banca examinadora.

Após avaliação foi aprovado na defesa. Às 11:00 horas, o (a) Prof. Dr. Leonardo Luiz Borges, presidente da Banca Examinadora deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou a presente Ata:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Solange Xavier dos Santos



Prof. Dra. Alessandra Marques Cardoso



Prof. Dr. Leonardo Luiz Borges

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Mariane Aparecida Serafim Navarro, que sempre me apoiou durante o mestrado, me incentivando, cuidando de mim, olhando de nossa filha enquanto eu assistia aulas, fazia coletas de campo e redigia o trabalho e me ajudando no mantimento de nosso lar tanto financeira quanto psicologicamente, já que nessa época tão sombria de pandemia as coisas foram bem mais difíceis para todos nós.

À minha filha, Manuela Andrade Navarro, que mesmo com sua pouca idade, não tem a noção de quanto foi importante para mim, pois a vontade de todo pai é ser o melhor espelho para uma filha e isso me manteve ativo, esperançoso e motivado em fazer o mestrado e com isso possibilitar meu crescimento intelectual.

Aos meus pais, Benedito Aparecido de Andrade e Eunice da Costa Andrade que nunca mediram esforços para que eu tivesse a oportunidade de ter uma excelente educação, me propiciando a conquista de tudo que eu tenho nesta vida.

À PUC e sua pesquisadora Dra. Alessandra Marques Cardoso que abriu as portas de seu laboratório e dedicou um pouco de seu conhecimento com muito zelo e atenção.

Ao Instituto Federal Goiano e sua pesquisadora Dra. Francielli Mello Andrade por me ajudar em parte importante da pesquisa, fazendo análises e me orientando sobre os resultados encontrados sobre os testes de ecotoxicidade em *Allium cepa*.

Aos professores do Renac/UEG, que mesmo com as dificuldades impostas pela pandemia, fizeram um grande trabalho em transmitir os ensinamentos com propriedade e comprometimento ímpares.

Ao professor Dr. Carlos de Melo e Silva Neto, meu coorientador, que sempre se mostrou preocupado e engajado com a pesquisa, me ajudando na escrita e na estatística.

Ao professor Dr. Leonardo Luiz Borges, meu orientador pela atenção, comprometimento, paciência e disponibilidade irrestrita.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), órgão em que trabalho, por propiciar a realização deste sonho. Espero poder recompensar na mesma altura.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIACÕES.....	12
INTRODUÇÃO GERAL.....	14
OBJETIVOS.....	17
REFERÊNCIAS.....	18

### Capítulo 1

#### **Panorama geral de estudos sobre a contaminação de recursos hídricos por áreas de disposição de resíduos sólidos no Brasil e no Mundo**

Resumo.....	21
Abstract.....	22
Introdução.....	23
Materiais e métodos.....	24
Resultados e Discussão.....	26
Conclusão.....	32
Referências.....	33

### Capítulo 2

#### **Impacto Ambiental de Lixões e Aterros Sanitários em Águas Superficiais de Corpos Hídricos do Estado de Goiás**

Resumo.....	36
Abstract.....	37
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	41
Resultados e Discussão.....	51
Referências.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
APÊNDICES, ANEXO OU MATERIAL SUPLEMENTAR.....	77

## RESUMO GERAL

A contaminação de água é um assunto de destaque no Brasil e no mundo, pois trata-se de um recurso de importância vital para todos os seres vivos. Desde os primórdios o homem se estabeleceu próximo a fontes de água para sua sobrevivência o que trouxe consequências para a disponibilidade e qualidade do recurso. O crescimento populacional aumentou a demanda do consumo de água, pois todas as atividades utilizam do recurso gerando resíduos/efluentes contaminantes. Metais pesados, microrganismos, elementos radioativos e resíduos sólidos urbanos (RSU) são exemplos de como as atividades antrópicas impactam os recursos hídricos. Os RSU representam grande fonte potencial de contaminação para os corpos d'água, principalmente em decorrência da destinação inadequada em áreas. Esta dissertação procurou, a princípio, estabelecer um panorama geral da ciência no Brasil e no mundo acerca da contaminação de recursos hídricos por áreas de disposição de RSU. Detectou-se um crescimento de estudos nos últimos 10 anos. A forma de destinação não teve relação com a quantidade de artigos da pesquisa. Obteve-se correlações moderadas entre quantidade de RSU e população dos países com o número de artigos pesquisados. Correlações altas se deram entre a produção de RSU com a população de países e número de artigos sobre a temática de RSU como um todo. Observou-se baixa produção de artigos tanto no Brasil como no mundo relacionados sobre o assunto deste estudo, porém novas pesquisas em outras bases de dados devem ser feitas para essa comprovação. Posteriormente, fez-se um estudo experimental de campo sobre contaminação em dez diferentes mananciais no estado de Goiás, sendo cinco próximos a lixões e cinco próximos a aterros. Em cada um, fez-se coletas a montante e a jusante. As amostras foram analisadas quanto a parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos em *Allium cepa*. Fez-se também análises de uso do solo das bacias hidrográficas dos pontos para determinar possíveis padrões de diferenciação na qualidade da água. Os resultados indicaram: contaminação microbiológica em todos os pontos com coliformes totais e *Escherichia coli*; parâmetros físico-químicos estavam de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, exceto a cor, que não se enquadrou em três pontos; não houve diferenças de parâmetros água próximas a aterros e lixões ou montante e jusante; não houve diferenças no comprimento de raízes de *Allium cepa* entre aterros sanitários, embora tenha ocorrido inibição de crescimento; entre lixões houve diferenças de um local para os demais; a análise de componentes principais (PCA) entre variáveis físico-químicas, comprimento de raiz e uso do solo mostraram que a condutividade, a formação florestal, formação savânica e campestre foram as variáveis que mais influenciaram na diferenciação entre as amostras.

Palavras-chave: contaminação, água, resíduos sólidos

## ABSTRACT

Water contamination is a prominent issue in Brazil and in the world, as it is a resource of vital importance for all living beings. Since the beginning, man has established himself close to water sources for his survival, which has had consequences for the availability and quality of the resource. Population growth has increased the demand for water consumption, as all activities use the resource, generating contaminating waste/effluents. Heavy metals, microorganisms, radioactive elements and urban solid waste (MSW) are examples of how human activities impact water resources. MSW represent a great potential source of contamination for water bodies, mainly due to inadequate disposal in areas. This dissertation sought, at first, to establish an overview of science in Brazil and in the world about the contamination of water resources by areas of MSW disposal. A growth of studies was detected in the last 10 years. The form of destination was not related to the number of research articles. Moderate correlations were obtained between the amount of MSW and the population of the countries with the number of articles searched. High correlations were found between the production of MSW with the population of countries and the number of articles on MSW as a whole. There was a low production of articles both in Brazil and in the world related to the subject of this study, but further research in other databases should be carried out for this confirmation. Subsequently, an experimental field study was carried out on contamination in ten different springs in the state of Goiás, five of them near dumps and five near landfills. In each one, upstream and downstream collections were made. The samples were analyzed for physical-chemical, microbiological and ecotoxicological parameters in *Allium cepa*. Land use analyzes were also carried out in the hydrographic basins of the points to determine possible patterns of differentiation in water quality. The results indicated: microbiological contamination at all points with total coliforms and *Escherichia coli*; physical-chemical parameters were in accordance with CONAMA resolution 357/2005, except for color, which did not fit into three points; there were no differences in water parameters near landfills and dumps or upstream and downstream; there were no differences in root length of *Allium cepa* between landfills, although growth inhibition occurred; between dumps there were differences from one location to the others; Principal component analysis (PCA) between physicochemical variables, root length and land use showed that conductivity, forest formation, savanna and grassland formation were the variables that most influenced the differentiation between the samples.

Keywords: contamination, water, solid waste

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1: Artigos por ano no mundo.

Figura 2: Artigos por ano no Brasil.

Figura 3: Número de artigos por estado no Brasil.

Figura 4: Número de artigos da pesquisa por países.

Figura 5: Número de artigos por área no mundo.

Figura 6: Número de artigos por área no Brasil.

Figura 7: Número de artigos da pesquisa dos 25 periódicos mais utilizados no mundo.

Figura 8: Número de artigos da pesquisa dos 10 periódicos mais utilizados no Brasil.

### Capítulo 2

Figura 1: Mapa de localização dos mananciais.

Figura 2: Bacias hidrográficas dos pontos a jusante e montante no Córrego Caveirinha.

Figura 3: Esquema de quantificação de uso de solo usando geoprocessamento.

Figura 4: Mapa do uso do solo da bacia hidrográfica do ponto a montante no Córrego Caveirinha em Goiânia-GO

Figura 5: Mapa do uso do solo da bacia hidrográfica do ponto a jusante no Córrego Caveirinha em Goiânia-GO

Figura 6: (a) Amostras contaminadas com coliformes totais, (b) amostras contaminadas com *Escherichia coli* submetidas à luz ultravioleta (c) controles positivo e negativo (d) controles positivos e negativos sob luz ultravioleta.

Figura 7: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a jusante em aterros (A1J, A4J, A7J, A8J e A9J).

Figura 8: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a montante em aterros (A1M, A4M, A7M, A8M e A9M).

Figura 9: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a jusante em lixões (A2J, A3J, A5J, A6J e A10J).

Figura 10: Gráfico de variáveis físico-químicas de amostras a montante em lixões (A3M, A5M, A6M, A10M e A2M).

Figura 11: Correlação uso do solo x parâmetros físico-químicos em amostras próximas a Aterros Sanitários.

Figura 12: Correlação uso do solo x parâmetros físico-químicos em amostras próximas a Lixões.

Figura 13: Componentes principais de 17 variáveis nos aterros sanitários e lixões.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1: Matriz de correlação entre n° de artigos e n° de cursos de pós-graduação.

Tabela 2 : Matriz de correlação entre o n° de artigos da pesquisa, produção de RSU, população dos países, artigos diversos sobre RSU nos países e as citações dos artigos diversos.

### Capítulo 2

Tabela 1: Identificação e localização em graus decimais dos pontos de coleta dos mananciais.

Tabela 2 : Dados climáticos diários dos locais de coleta.

Tabela 3: Dados físico-químicos das amostras de água.

Tabela 4: Valores de  $p$  utilizando o teste  $t$ .

Tabela 5: Área de Uso e ocupação do solo (%) das bacias dos pontos amostrados.

Tabela 6: Comprimento de raízes de *Allium cepa* submetidos às diferentes amostras de água.

## LISTA DE ABREVIACOES

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AL – Alagoas  
ANA – Agência Nacional de guas  
APHA - Associação Americana de Saúde Pública  
ANOVA – Análise de Variância  
APP – rea de Preservação Permanente  
BA – Bahia  
CE – Ceará  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
cm – centímetros  
CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DQO - Demanda química de oxigênio  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
GPS - Sistema de posicionamento global  
IQA – ndice de Qualidade das guas  
L - litro  
mL – mililitro (s)  
mm – milímetro  
NMP – Número mais provável  
NTU - Nephelometric Turbidity Unit  
PB – Paraíba  
PCA - Análise de componentes principais  
PE – Pernambuco  
PERS - Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás  
pH – Potencial hidrogeniônico  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PtCo - Escala platina-cobalto  
RJ – Rio de Janeiro  
RN – Rio Grande do Norte  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SE – Sergipe

SP – São Paulo

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos

UTM – *Universal Transverse Mercator*

## INTRODUÇÃO GERAL

A água é provavelmente o elemento mais importante de nossas vidas, estando presente desde nossa constituição corporal como em milhares de composições químicas alimentícias, químicas, bem como servindo de veículo nas mais diversas atividades humanas. Desde as primeiras civilizações o homem se estabeleceu próximo a fontes de água por entender da sua necessidade e importância (BRUNI, 1993). Toda a vida terrestre depende dela, portanto preservá-la é questão de sobrevivência, mas não é isso que tem ocorrido nos últimos tempos. Cada vez mais o recurso tem ficado indisponível para uso, trazendo consigo uma insegurança vital a todos os seres vivos do planeta. Segundo Tavares e Araújo (2020), somente 1% da água doce encontra-se disponível para os animais e seres humanos, sendo que desse, 97% no subsolo, portanto apesar do planeta ter mais de 70% de água, a grande maioria dela está indisponível e as atividades humanas tem dificultado o acesso ao pouco que se tem, dessa forma espera-se que em 2025 mais da metade da população mundial sofrerá com a falta de água.

O crescimento populacional mundial alavanca um consumo hídrico cada vez maior e o resultado se traduz na escassez hídrica, que muitas das vezes é causada pela indisponibilidade permanente do recurso. Padrões de consumo não sustentáveis de degradação ambiental tem acarretado a destruição dos ecossistemas aquáticos gerando graves problemas à saúde dos seres vivos (MEDEIROS *et al.*, 2016). Gerir as águas residuais provenientes das atividades humanas produtivas é condição obrigatória para a preservação ambiental e controle da poluição garantindo a qualidade da água para gerações futuras (ZAHARIA, 2017).

Inúmeras são as atividades antrópicas que causam contaminação da água, dentre elas irrigação, atividades industriais, de mineração, despejo de esgoto doméstico e disposição inadequada de resíduos. Águas de reuso de irrigação tem causado contaminação de águas subterrâneas aumentando a salinidade, níveis de metais pesados e superdosagem de nutrientes para as plantas (CHEN *et al.*, 2013). Os rejeitos de extração de minério trazem inúmeros riscos ambientais como degradação do solo e de águas superficiais e subterrâneas afetando a qualidade desses recursos, pois contém elementos tóxicos e até mesmo radioativos com alto poder prejudicial à saúde dos seres vivos (LAZORENKO *et al.*, 2021). O fato de os seres humanos estarem sempre próximos aos córregos, rios, lagos e oceanos, por dependerem dele para a sobrevivência, os recursos hídricos são constantemente expostos e suscetíveis à contaminação, especialmente pelo lançamento direto nos corpos de esgoto doméstico, aumentando a incidência de patógenos na água e consequente incidência de doenças, sem contar o aumento de metais pesados que é potencializado (WEAR *et al.*, 2021). No que se refere à disposição

inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU), o problema ambiental se concentra principalmente na produção do lixiviado, também conhecido como chorume, que se não tratado pode acarretar sérios problemas na contaminação de águas, pois apresenta altas concentrações de contaminantes como metais pesados e pode causar problemas na qualidade da água relativas a DBO (demanda biológica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), NH<sub>3</sub> (hidróxido de amônia), acidez, e incidência de microrganismos patogênicos (SHADI *et al.*, 2020).

Os agentes contaminantes mais preocupantes são resíduos de fármacos, metais pesados e patógenos. A contaminação do ambiente com resíduos de antibióticos é o exemplo mais clássico do perigo desse contaminante nas águas, pois induz resistência à diversos tipos de bactérias fazendo com que certas doenças persistam e se perpetuem no tempo gerando graves problemas de saúde aos seres vivos, principalmente ao homem (KRAEMER *et al.*, 2019). Outra preocupação expressiva é a concentração alta de metais pesados decorrentes de mineração, descarte de resíduos, processos de fabricação e fontes naturais, as quais tiveram aumento expressivo nos corpos d'água globais entre 1970 a 2017 (ZHOU *et al.*, 2020). Os microrganismos são também fontes preocupantes de contaminação na água e responsáveis pela disseminação de diversas doenças como cólera, disenteria e poliomielite, portanto eliminar as fontes de contaminação e monitorar a qualidade da água é condição obrigatória e de saúde pública (RENGARAJ *et al.*, 2018).

Os RSU (resíduos sólidos urbanos) são fontes ricas desses contaminantes e a disposição inadequada é a principal causa de indisponibilidade hídrica, pois facilita o transporte dessas substâncias até as fontes hídricas. Diversas tecnologias como compostagem, reciclagem, digestão anaeróbica e incineração têm sido implementadas no sentido de minimizar ou mesmo eliminar a contaminação e muitos países têm as utilizado como outras formas de destinação dos RSU. A reciclagem possui inúmeros benefícios sócio-ambientais como redução da contaminação pela menor disposição em áreas, menor uso de matéria-prima, de incineração e aumento de geração de emprego e renda (CONKE, 2018). Segundo Conke (2018), no Brasil menos de 12% dos resíduos com potencial para reciclagem são efetivamente reciclados, situação semelhante na Rússia, China e África do Sul.

A tecnologia de compostagem de resíduos é interessante na medida que reduz a quantidade de material para os aterros além de poder utilizar o composto como fertilizante na produção de alimentos, com isso além de auferir lucro para as pessoas, reduz a emissão de gases de efeito estufa (metano) e a contaminação de águas nos aterros, pois menos material é disposto nessas áreas (QDAIS *et al.*, 2019). A produção de biogás através da digestão anaeróbica é outra

alternativa que vem ganhando espaço no mundo, pois implica na redução da contaminação tanto da água quanto do ar ao mesmo tempo que possibilita o aproveitamento energético econômico do gás resultante e utilização do subproduto sólido e líquido como fertilizante (RASAPOOR *et al.*, 2020). Outra tecnologia com destaque no mundo é a incineração de RSU, pois reduz a disposição em aterros e lixões, gerando energia e diminuindo indiretamente a contaminação dos recursos hídricos tendo em vista menor descarte no meio ambiente (SILVA *et al.*, 2020). Segundo dados do *World Bank* (2018), na reciclagem se destacam os países como Austrália, Alemanha e Eslovênia com quase 50% dos RSU compostados; na compostagem Áustria e Bélgica destinam boa parte dos resíduos nessa modalidade; Dinamarca, Finlândia, Japão e Noruega se destacam na incineração de resíduos; Brasil, Camarões, Iraque, Kwait destinam quase sua totalidade em áreas de disposição de aterros e lixões.

Mesmo quando a escolha de destinação seja a disposição em aterros sanitários, há técnicas que inibem ou reduzem a contaminação dos recursos hídricos. Diversos exemplos de tecnologias já existentes no mundo são comumente utilizadas visando combater a contaminação hídrica em aterros sanitários. Podemos citar como exemplo as barreiras físicas, geoquímicas, tratamento de lixiviados dos aterros, reciclagem de nutrientes de lixiviado e aproveitamento energético. As geomembranas são barreiras físicas amplamente utilizadas em aterros sanitários visando a diminuição e impedimento de transporte do lixiviado altamente contaminante para águas subterrâneas (SUN *et al.*, 2019). Em conjunto com as geomembranas, se utilizam barreiras geoquímicas com materiais específicos como argilas colocados no fundo do aterro que retêm diversos tipos de contaminantes visando que atinjam o lençol freático (EGIRANI *et al.*, 2020). Outra tecnologia eficaz contra a contaminação de águas é o tratamento do lixiviado do aterro que evita o nitrogênio amoniacal e outros componentes tóxicos extremamente nocivos para a qualidade da água (COSTA *et al.*, 2019).

No Brasil, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (SNIS, 2020), 84,73% da população brasileira é urbana e 14,6% dos 5568 municípios dispõem os resíduos em aterros sanitários, logo, existe uma grande preocupação quanto a contaminação pela disposição inadequada de RSU, já que a maioria do lixo é disposta em lixões a céu sem controle sanitário adequado. Dados da Codeplan (2020) indicam que mais de 90% da população brasileira está submetida a apenas 20% dos recursos hídricos superficiais. Considerando ainda dados populacionais do IBGE (2021) e de disponibilidade hídrica citados por Borguetti *et al.* (2004), nove estados brasileiros (SP, RJ, BA, CE, PB, SE, AL, PE, RN), que representam 52% da população brasileira, sofrem com baixa ou crítica disponibilidade por habitante. Esses dados

revelam a importância de proteção dos recursos hídricos existentes já que grande parte da população tem pouca disponibilidade de água e com grandes chances de estarem contaminadas também por lixões e aterros sanitários, informação que não pode ser ignorada.

## OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo traçar um panorama geral de estudos científicos quanto à contaminação de recursos hídricos por áreas de lixões e aterros sanitários no Brasil e no mundo, bem como o impacto dessas áreas em águas superficiais de corpos hídricos em Goiás.

No capítulo 1, foi averiguado o comportamento das pesquisas ao longo do tempo quanto à produção de artigos, países, estados brasileiros, áreas de pesquisa e periódicos que mais se destacaram. Alguns pensamentos nortearam o estudo como: a) países mais ativos na produção científica também produzem mais artigos sobre impacto ambiental de resíduos sólidos urbanos em recursos hídricos; b) países que destinam os resíduos sólidos urbanos em áreas de disposição produzem mais artigos relacionados à contaminação de recursos hídricos vindo dessas áreas; países com maior população e maior geração de RSU também possuem mais pesquisas conforme o objetivo do estudo; c) estados brasileiros com mais cursos de pós-graduação produzem mais artigos relacionados à contaminação de recursos hídricos vindo de lixão e aterro.

Com relação ao segundo capítulo, para avaliar a qualidade das águas superficiais de cursos d'água próximos a aterros e lixões, foram estudadas as características físico-químicas, parâmetros microbiológicos, informações de ecotoxicidade em *Allium cepa* de amostras d'água. Foram analisadas também informações sobre o uso de solo das bacias hidrográficas dos pontos de coleta para tentar correlacionar as diferenças entre os parâmetros anteriormente citados. As dúvidas a serem levantadas foram: a) amostras de água próximas a lixões possuem qualidade inferior a próximas a aterros sanitários; b) amostras de água a montante possuem qualidade superior às amostras a jusante, independentemente de estarem próximas a lixões ou aterros sanitários; c) amostras de água próximas a lixões possuem qualidade pior que próximas a aterros independente do uso de solo das bacias hidrográficas dos pontos de coleta dessas amostras.

## REFERÊNCIAS

- BORGHETTI, N. B.; BORGGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. 1. ed., 214 p. Curitiba. Roberto Marinho, 2004.
- BRUNI, J. C. A água e a vida. Tempo Social; Revista de Sociologia da USP. São Paulo, Vol. 5, p. 53-65. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1590/ts.v5i1/2.84942>.
- CHEN, W.; LU, S.; JIAO, W.; WANG, M.; CHANG, A. C. Reclaimed water: A safe irrigation water source? Environmental Development. Vol. 8, p. 74-83, 2013. DOI: 10.1016/j.envdev.2013.04.003.
- CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Um Panorama das Águas no Distrito Federal, 2020. Disponível em: <<https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Estudo-Um-Panorama-das-%C3%81guas-no-Distrito-Federal.pdf>>. Acesso em 07/04/2022.
- CONKE, L. S.; Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 134, p. 129-135, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.007>.
- COSTA, A. M.; ALFAIA, R.G.S.M.; CAMPOS, J.C. Landfill leachate treatment in Brazil – An overview. Journal of Environmental Management, vol. 232, p. 110-116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.006>.
- EGIRANI, D. E.; SHEHATA, N.; IGWU, I. M.; OPUKUMO, A. Experimental Studies on the Characterization of Niger Delta Smectite and its Performance as a Geochemical, Bacteriological, and Geotechnical Barrier System. Athens Journal of Sciences, vol. 7, p. 207-224, 2020. DOI:10.30958/ajs.7-4-2.
- KRAEMER, S. A.; RAMACHANDRAN, A.; PERRON, G. G. Antibiotic Pollution in the Environment: From Microbial Ecology to Public Policy. Microorganisms. Vol. 7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7060180>.
- LAZORENKO, G.; KASPRZHITSKII, A.; SHAIKH, F.; KRISHNA, R. S.; MISHRA, J. Utilization potential of mine tailings in geopolymers: Physicochemical and environmental aspects. Process Safety and Environmental Protection. Vol. 147, p. 559-577, 2021. DOI: 10.1016/j.psep.2020.12.028.
- MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M. Assessment of the quality of water for consumption by river-bank communities in areas exposed to urban and industrial pollutants in the municipalities of Abaetetuba and Barcarena in the state of Pará, Brazil. Ciência & Saúde Coletiva, Vol. 21, p. 695-708, 2016. DOI: 10.1590/1413-81232015213.26572015.
- QDAIS, H. A.; WUENSCH, C.; DORNACK, C.; NASSOUR, A. The role of solid waste composting in mitigating climate change in Jordan. Waste Management & Research. Vol. 37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X19855424>.
- RENGARAJ, S.; CRUZ-IZQUIERDO, A.; SCOTT, J.; DILORENZO, M. Impedimetric paper-based biosensor for the detection of bacterial contamination in water. Sensors and Actuators B: Chemical. Vol. 265, p. 50-58, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.020>.

TAVARES, J. M.; ARAÚJO, W. J. S. Drinking Water Consumption and Shortage in Salvador – Bahia. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 9, p.70909-70925, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n9-513

RASAPOOR, M.; YOUNG, B.; BRAR, R.; SARMAH, A. ZHUANG, W. Q.; BAROUTIAN, S. Recognizing the challenges of anaerobic digestion: Critical steps toward improving biogas generation. *Fuel*, Vol. 261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116497>.

SHADI, A. M. H.; KAMARUDDIN, M. A.; NIZA, M. N.; EMMANUELA, M. I.; SHAAH, M. A.; YUSOFF, M. S.; ALLAFI, F. A. Characterization of stabilized leachate and evaluation of LPI from sanitary landfill in Penang, Malaysia. *Desalination and Water Treatment*. Vol. 189, p. 152-164, 2020. DOI: 10.5004/dwt.2020.25468.

SILVA, L.J.V.B.; SANTOS, I.F.S.; MENSAH, J.H.R.; GONÇALVES, A.T.T.; BARROS, R.M. Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential. *Renewable Energy*, Vol. 149, p. 1386-1394, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Painel de Resíduos Sólidos Urbanos, 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>>. Acesso em 05/02/2022.

SUN, X.C.; XU, Y.; LIU, Y.; NAI, C.; DONG, L.; LIU, J.; HUANG, Q. Evolution of geomembrane degradation and defects in a landfill: Impacts on long-term leachate leakage and groundwater quality. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 224, p. 335-345, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.200>.

WEAR, S. L.; ACUÑA, V.; McDONALD, R.; FONT, C. Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration. *Biological Conservation*. Vol. 255, 2021. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109010.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

WORLD BANK GROUP. *What a Waste 2.0, a Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. 2018. Disponível em: <<http://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>>. Acesso em 12/11/2021.

ZAHARIA, C. Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 108, p. 74-88, 2017. DOI: 10.1016/j.psep.2017.02.004.

ZHOU, Q.; YANG, N.; LI, Y.; REN, B.; DING, X.; BIAN, H.; YAO, X. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*. Vol. 22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>.

## **CAPÍTULO 01**

**PANORAMA GERAL DE ESTUDOS SOBRE A CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS POR ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL E NO MUNDO.**

Panorama geral de estudos sobre a contaminação de recursos hídricos por áreas de disposição de resíduos sólidos no Brasil e no Mundo.

## Resumo

A revisão sistemática é uma ferramenta bastante utilizada para avaliar a produção da ciência brasileira na produção de artigos nas diversas áreas do conhecimento. Em 2011 se criou a área de Ciências Ambientais que cresceu devido à maior percepção e preocupação com os problemas ambientais. Estudos cienciométricos permitem identificar áreas emergentes propiciando maior aporte financeiro e humano em pesquisas. A contaminação de recursos hídricos por atividades humanas é objeto de revisões sistemáticas no mundo. Diversos assuntos relacionados ao tema são abordados e os resíduos sólidos urbanos têm ganhado importância na ciência mundial, pois há um aumento constante na quantidade e diversidade desses resíduos com potenciais impactos no meio ambiente. Pesquisadores observaram um aumento significativo nos últimos anos nas pesquisas sobre resíduos urbanos. Este estudo teve como objetivo traçar um panorama geral dado pela comunidade científica acerca de estudos sobre a contaminação de recursos hídricos subterrâneos e superficiais por áreas de lixões e aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no mundo. Para isso, utilizando as informações de artigos extraídas da plataforma *Web of Science*, selecionou-se 3840 artigos entre 1990 e 2021 dos quais 478 se tratavam do assunto de interesse. Desses, 49 se localizavam no Brasil. Houve um crescimento nos últimos 10 anos que foi acompanhado pelo surgimento de cursos de pós-graduação *Stricto Sensu*, principalmente relacionados às ciências ambientais. No mundo, 77 países produziram os artigos de interesse divididos em 35 grandes áreas de pesquisa e 199 diferentes periódicos de publicação. No Brasil, somente 12 estados fizeram estudos relacionados ao tema de interesse onde se destacaram 18 áreas de pesquisa e publicação em 33 diferentes periódicos. A forma de destinação de resíduos no mundo não tem relação com a quantidade de artigos da pesquisa, mas obteve-se correlações moderadas entre a quantidade de resíduos produzidos e população dos países com o número de artigos pesquisados. Correlações altas se deram entre a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) com a população de países e número de artigos sobre a temática de RSU como um todo e não somente quanto à contaminação direta da água por aterros/lixões, que foi o objetivo principal deste trabalho. Por fim, observou-se que houve baixa produção de artigos tanto no Brasil como no mundo relacionados sobre o assunto deste estudo, porém novas pesquisas devem ser feitas para essa comprovação tendo em vista ter sido utilizadas somente uma base de dados.

Palavras-chave: água, ciencimetria, córregos

## Abstract

The systematic review is a tool widely used to evaluate the production of Brazilian science in the production of articles in the various areas of knowledge. In 2011, the Environmental Sciences area was created, which grew due to a greater perception and concern with environmental problems. Scientometric studies make it possible to identify emerging areas providing greater financial and human support for research. The contamination of water resources by human activities is the object of systematic reviews around the world. Several issues related to the theme are addressed and urban solid waste has gained importance in world science, as there is a constant increase in the quantity and diversity of this waste with potential impacts on the environment. Researchers have observed a significant increase in recent years in research on municipal waste. This study aimed to draw an overview given by the scientific community about studies on the contamination of underground and surface water resources by areas of dumps and sanitary landfills of urban solid waste in Brazil and in the world. For this, using information from articles extracted from the Web of Science platform, 3840 articles were selected between 1990 and 2021, of which 478 dealt with the subject of interest. Of these, 49 were located in Brazil. There has been a growth in the last 10 years that has been accompanied by the emergence of *Stricto Sensu* postgraduate courses, mainly related to environmental sciences. Worldwide, 77 countries produced articles of interest divided into 35 major research areas and 199 different publication periods. In Brazil, only 12 states carried out studies related to the topic of interest, highlighting 18 areas of research and publication in 33 different journals. The form of waste disposal in the world is not related to the number of research articles, but moderate correlations were obtained between the amount of waste produced and the population of the countries with the number of articles researched. High correlations were found between the production of urban solid waste (MSW) with the population of countries and the number of articles on MSW as a whole and not only on the direct contamination of water by landfills/dumps, which was the main objective this work. Finally, it was observed that there was a low production of articles both in Brazil and in the world related to the subject of this study, but further research should be carried out for this proof, considering that only one database was used.

Keywords: water, scientometrics, streams

## Introdução

A ciência brasileira tem se destacado a cada ano na produção de artigos nas mais diversas áreas do conhecimento. A revisão sistemática é uma excelente ferramenta que permite a visualização dessa informação. No Brasil, dentre as áreas de estudo ganhou destaque, a partir de 2011, uma nova grande área de pesquisa, as Ciências Ambientais, criada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) neste ano e que avançou de 57 programas de pós-graduação neste ano para 123 programas em 2018, sendo 37 no Sudeste, 27 no sul, 18 no centro-oeste e 14 na região norte (AZEVEDO *et al.*, 2021). Ainda segundo os autores, esse crescimento foi devido a uma maior percepção acerca das mudanças climáticas globais e os consequentes efeitos na *sociedade* tanto no que diz respeito à política, quanto na questão da sustentabilidade ambiental da própria vida humana. Por tais razões, a utilização de ferramentas científicas como o estudo cienciométrico, permite, de forma sistemática, identificar as áreas emergentes e propiciar maior aporte financeiro e humano nas pesquisas futuras (Silva e Bianchi, 2001).

Segundo Wu e Wang (2018), as pesquisas teóricas e práticas são relevantes na avaliação dos danos ambientais de forma a garantir a recuperação ambiental. As pesquisas teóricas buscam informações diversas de artigos já publicados e permitem avaliar como se dá a dinâmica da produção científica, são as conhecidas bibliometria, cienciométrica e, mais atualmente, webometria (DO PRADO *et al.*, 2020). Segundo Parra *et al.* (2019) estudos de cienciométrica tem se intensificado nos últimos anos em diferentes áreas, fato comprovado nos portais de pesquisa como Periódicos da CAPES e Google Acadêmico. Por exemplo, Rodrigues *et al.* (2018) utilizando de métodos bibliométricos avaliou a evolução temporal de hormônio na água e observou através de pesquisa na *Web of Science* um aumento significativo de 1998 a 2016 em artigos publicados, porém as publicações se concentraram na América do Norte e Europa. Na China, nos últimos 30 anos, houve intenso crescimento da interdisciplinaridade dos recursos e das ciências ambientais com temáticas cada vez mais extensas, dentre elas os estudos sobre os recursos hídricos (HAN *et al.*, 2022).

A contaminação de recursos hídricos pelas atividades humanas tem sido assunto objeto de estudo em todo mundo, inclusive de estudos teóricos de revisão sistemática. Os mais diversos assuntos relacionados à contaminação das águas são citados nos trabalhos. Por exemplo, Jiang *et al.* (2020) avaliou através de um trabalho de revisão sistemática as formas utilizadas na ciência quanto às redes matemáticas de monitoramento de qualidade da água. Irawan *et al.* (2017) fez um estudo bibliométrico na Indonésia e observou que as águas subterrâneas não

eram tratadas até o ano de 2000 com sendo um recurso de valor financeiro e que havia nas pesquisas pouca interação entre águas subterrâneas e superficiais, o que prejudicava a avaliação da qualidade da água em uma grande metrópole como Jacarta.

O tema de resíduos sólidos urbanos tem ganhado destaque na ciência brasileira e mundial diante do crescente aumento na quantidade e diversidade desses resíduos e de seus impactos no meio ambiente, seja, no ar, solo e na água (Gouveia, 2012). A evolução temporal no número de pesquisas ao longo do tempo representa um importante parâmetro para saber como se comporta a dinâmica científica frente ao crescente aumento na produção de resíduos sólidos. Conforme observado por Deus *et al.* (2015), a produção científica sobre o tema de resíduos sólidos triplicou entre 1993 e 2013, o que reforça a importância do assunto na comunidade científica. Fato semelhante foi observado por Zyoud *et al.* (2015) que constatou em seu estudo bibliométrico um aumento repentino nos últimos 10 anos em artigos sobre resíduos sólidos urbanos no mundo árabe.

Este estudo tem o objetivo de traçar um panorama geral de como a comunidade científica trata de estudos sobre a contaminação de recursos hídricos subterrâneos e superficiais por de áreas de lixões e aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos no Brasil e no mundo, que é o foco principal desta dissertação

## **Materiais e métodos**

A metodologia foi adaptada de Macri *et al.* (2021) onde a seleção dos artigos do estudo cientiométrico se deu através de consulta na coleção principal da plataforma *Web of Science* (WOS) que engloba todas as edições a saber: *Sciense Citation Index Expanded*, *Social Sciences Citation Index*, *Art & Humanities Citation Index*, *Conference Proceedings Citation Index e Emerging Sources Citation Index*. Optou-se pela busca no campo de pesquisa “Topic” que busca os termos nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos, pois nem sempre as palavras são encontradas nos títulos dos artigos. Utilizou-se na busca os termos de acordo com a seguinte fórmula: (((dumpsite\* OR landfill\* OR dumps) AND (("surface water\*" OR river\* OR Lake\* OR groundwater OR stream\* OR "water flow")) AND(contamination OR pollut\* OR contaminant\* OR heavy metal\* OR effluent OR leached OR wastewater OR "slurry water")))). Foram selecionados somente artigos científicos publicados entre 1990 e 2021, que abrangem praticamente todos os artigos de interesse.

Em razão da plataforma buscar termos em inglês, traduziu-se os termos em português para a devida consulta. Os termos envolvem a contaminação/poluição de águas subterrâneas, superficiais, de rios, córregos e lagos provenientes de áreas de lixões e aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Optou-se em colocar também na busca termos referente a lixiviados, efluentes e metais pesados, pois são comumente atrelados às contaminações de recursos hídricos e poderiam fazer parte dos artigos relativos a áreas de disposição de resíduos urbanos. Além disso, junto aos termos escolhidos para a busca utilizou-se o carácter “ \* ” (asterisco) para que fossem consideradas também todas as derivações de um mesmo termo, por exemplo, o termo “pollut” com a utilização do carácter capta outras palavras derivadas como “polluted”, “pollution”, “pollutant”, “pollutions”, “pollutants”, etc.

Os registros completos dos artigos resultantes da pesquisa foram extraídos via *download* do site e exportados no formato de planilha Excel do tipo “xls”. O próximo procedimento foi selecionar na planilha os artigos de interesse de acordo com o objetivo da pesquisa. A seleção se deu através da leitura dos resumos dos artigos da busca, sendo que somente foram contemplados aqueles que continham informações sobre contaminação direta de águas superficiais e subterrâneas proveniente de áreas de lixões e aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Artigos de assuntos semelhantes ao objetivo do estudo que fizeram uma abordagem indireta de contaminação dos recursos hídricos foram excluídos da análise. Dentre os mais diversos assuntos não contemplados destaca-se: escolhas de locais adequados para aterros sanitários; análises de potenciais contaminantes de resíduos específicos; contaminações de água por outras fontes de contaminação (aterros de rejeitos de minério, de cinzas de carvão, de cinzas volantes e resíduos perigosos); metodologias de tratamento de lixiviados de aterros; incineração de lixos; contaminação de solos por resíduos sólidos urbanos; métodos físico, químico e biológicos de remediação de áreas de disposição de resíduos; estudos sobre tipo de barreiras e revestimentos em aterros contra contaminantes; estudos sobre remoção e reciclagem de elementos químicos provenientes de aterros; reaproveitamento de resíduos; métodos de reciclagem; delimitação de plumas de contaminação de áreas contaminantes como aterros; biorremediação de lixiviados e áreas por plantas, fungos e bactérias.

Por fim, os dados foram analisados e trabalhados no software Excel e as análises estatísticas no software Past.

## Resultados e Discussão

Utilizando-se as palavras-chave na plataforma, se obteve um quantitativo total de 3840 artigos. Desses, após uma filtragem, 478 artigos estavam alinhados com o objeto do estudo. A distribuição da quantidade por ano ocorreu conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2 abaixo. Nota-se que os primeiros trabalhos ocorreram em 1991 e houve um crescimento exponencial no número de trabalhos tanto no Brasil quanto no mundo. Isto se evidencia na porcentagem de artigos nos últimos 10 anos (2011-2021), onde mais de 90% dos artigos foram produzidos nessa época.

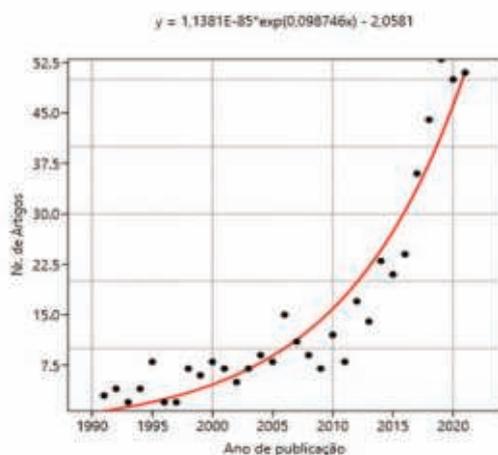


Figura 1: Artigos por ano no mundo.

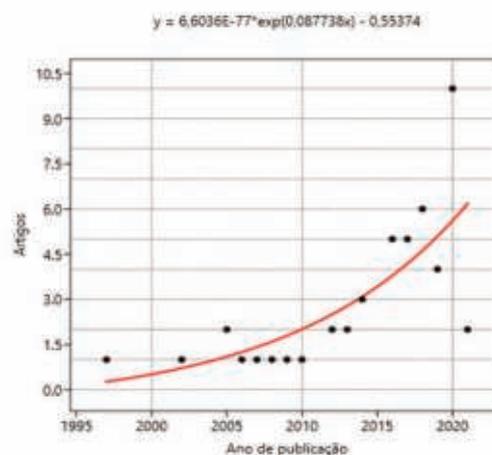


Figura 2: Artigos por ano no Brasil.

Utilizando o teste *t* e separando-se em dois períodos distintos, 1991-2005 e 2006-2021, restou evidente uma diferença significativa ( $p < 5\%$ ) no crescimento entre eles, sendo que no segundo período fica nítido o crescimento. Diversos fatores podem ter contribuído para isso, como maior aporte financeiro em pesquisas, crescimento de números de cursos de pós-graduação e maior necessidade de cuidados com o meio ambiente referente às contaminações de recursos hídricos.

No que se refere à produção de artigos no Brasil, foram produzidos 49 estudos divididos em 12 estados da federação. Observa-se na Figura 3 abaixo que mais de 75% dos estudos se concentraram em apenas cinco estados (São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Rio de Janeiro). Algumas possíveis explicações sejam por maiores números de cursos de pós-

graduação, maiores quantidades de produção de resíduos sólidos urbanos e maior população.

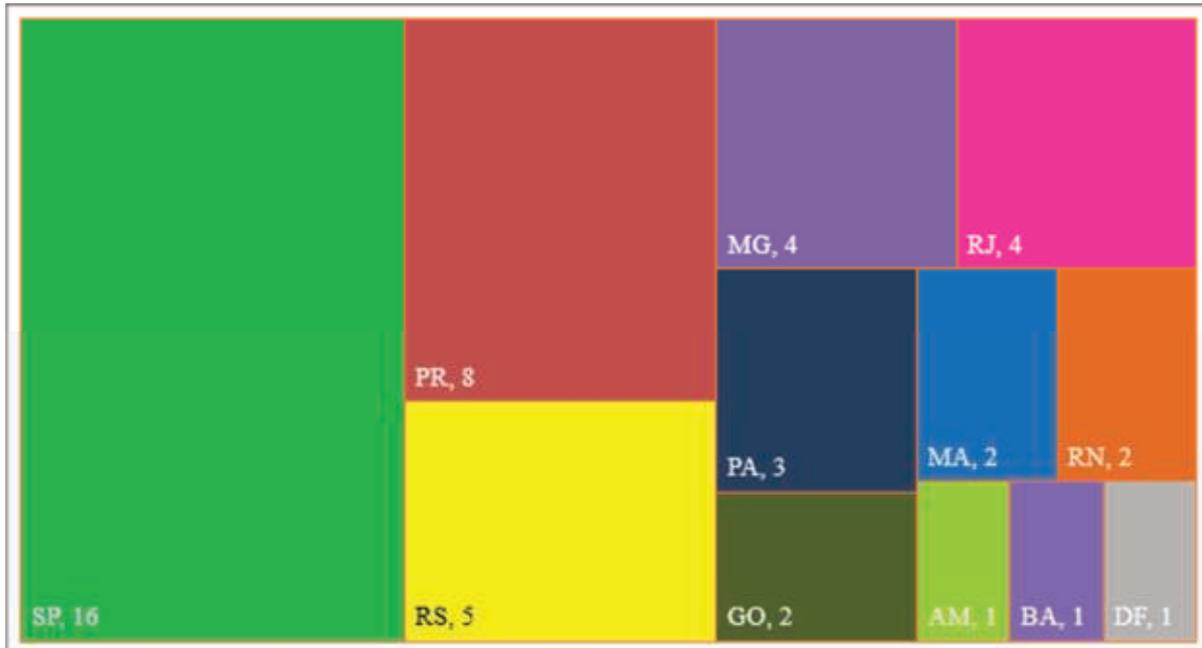


Figura 3: Número de artigos por estado no Brasil.

Observou-se também no Brasil que há uma forte correlação positiva (Tabela 1), entre o número de artigos da pesquisa (49 artigos) com o número de cursos de pós-graduação *Stricto sensu* surgidos nos estados entre os anos de 1990 e 2020 (4538 cursos). Isso significa que à medida que surgiram novos cursos de pós ao longo dos anos, também houve crescimento do número de artigos sobre contaminação de recursos hídricos oriundos de áreas de lixões e aterros, que é o objetivo dessa pesquisa. Os dados relativos aos cursos foram retirados da plataforma Sucupira da CAPES (2022).

Tabela 1: Matriz de correlação entre nº de artigos e nº de cursos de pós-graduação.

	<i>Artigos</i>	<i>Cursos de Pós Stricto sensu</i>
<i>Artigos</i>	1	0,8689
<i>Cursos de Pós Stricto sensu</i>	0,8689	1

Fonte: Autor

Com relação aos artigos da pesquisa no mundo, dos 478 estudos, somente 77 países produziram esses artigos, sendo o Brasil o país que mais produziu com aproximadamente 10% do total.

Apenas oito países representaram mais de 50% do total de artigos, sendo os que mais se destacaram o Brasil, a Índia, a Nigéria, a Polônia, a China, os EUA, a Dinamarca e a Itália, conforme Figura 4 abaixo.

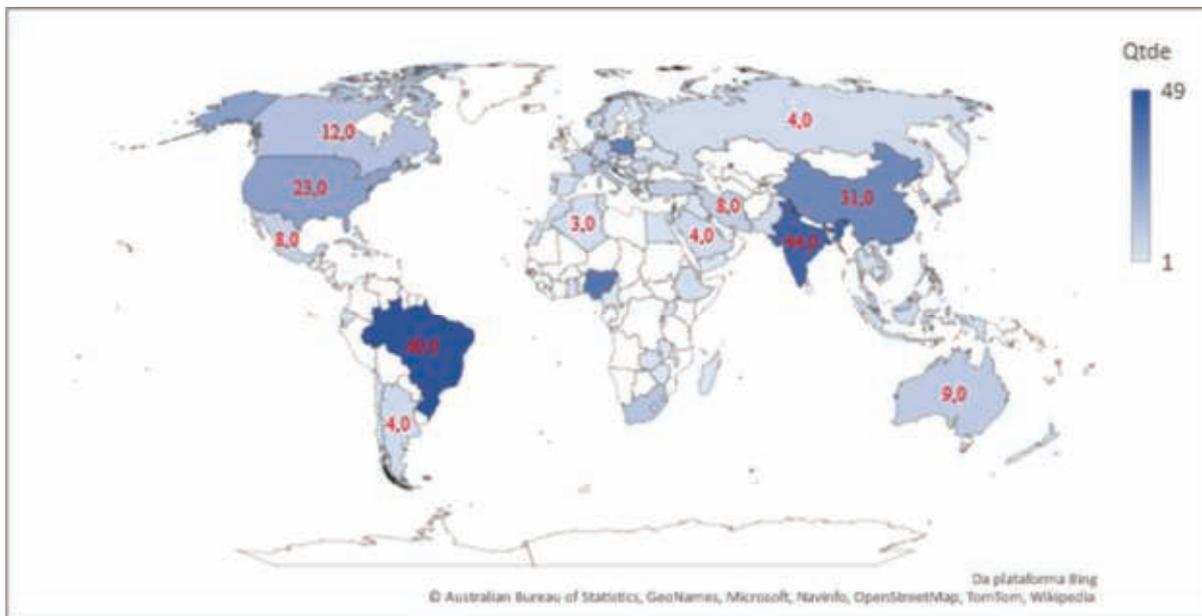


Figura 4: Número de artigos da pesquisa por países.

Utilizando ainda os dados do *World Bank* de autoria de Kaza *et al.* (2018), que mostra os percentuais que cada país tem sobre destinação dos resíduos sólidos, fez-se uma comparação entre dois grupos de países de forma a avaliar se o modo de destinação dos resíduos foi preponderante para o número de artigos da pesquisa. O primeiro grupo se refere a países que destinam a maior parte dos resíduos em áreas de disposição como lixões e aterros, dentre eles temos Brasil, Índia, China e EUA. O segundo corresponde aos países que destinam a maior parte em compostagem, reciclagem, digestão anaeróbia e incineração, dentre eles Austrália, Polônia, Dinamarca, Itália, França e Alemanha. Como resultado, não se observou diferença significativa entre os dois grupos ( $p > 5\%$ ), portanto o modo de destinação dos resíduos não tem relação com o número de artigos da pesquisa.

Outra forma de tentar explicar as diferenças na produção de artigos da pesquisa por países foi através de uma correlação entre a quantidade de resíduos sólidos urbanos e população – dados do relatório do *World Bank* (2018) – e a quantidade absoluta de artigos e as citações desses por países – dados da plataforma Scimago Jr (2022). A quantidade absoluta referida anteriormente corresponde aos artigos sobre RSU das mais diversas áreas e não apenas alinhados ao objetivo deste estudo.

Tabela 2: Matriz de correlação entre o nº de artigos da pesquisa, produção de RSU, população dos países, artigos diversos sobre RSU nos países e as citações dos artigos diversos.

	<i>Artigos da pesquisa</i>	<i>Produção de RSU</i>	<i>População</i>	<i>Artigos diversos sobre RSU</i>	<i>Citação dos diversos artigos</i>
<i>Artigos da pesquisa</i>	1	0,627659674	0,608253764	0,407244166	0,423597204
<i>Produção de RSU</i>	0,62766	1	0,816539904	0,850970348	0,850970348
<i>População</i>	0,608254	0,816539904	1	0,505071571	0,538962675
<i>Artigos diversos sobre RSU</i>	0,407244	0,850970348	0,505071571	1	0,996110333
<i>Citação dos diversos artigos</i>	0,423597	0,866106522	0,538962675	0,996110333	1

Legenda: RSU: Resíduos sólidos urbanos. Fonte: Autor.

Conforme Tabela 2 acima observou-se que a produção de artigos da pesquisa apresentou correlação moderada e positiva com a produção de RSU e a população dos países, de forma que nem sempre seria possível afirmar que o crescimento da população e da produção de resíduos acompanhe de fato o crescimento do número de artigos da pesquisa. Há também, fraca correlação positiva entre quantidade de artigos diversos sobre RSU e suas citações nos 77 países entre 1996 e 2020 com a quantidade dos artigos pesquisados. Já a produção de resíduos sólidos apresentou forte correlação com os artigos diversos sobre RSU e suas citações entre 1996-2020 nos 77 países, que muito provavelmente se dá pela produção de artigos relacionados aos resíduos sólidos das mais diversas temáticas que não a desse trabalho.

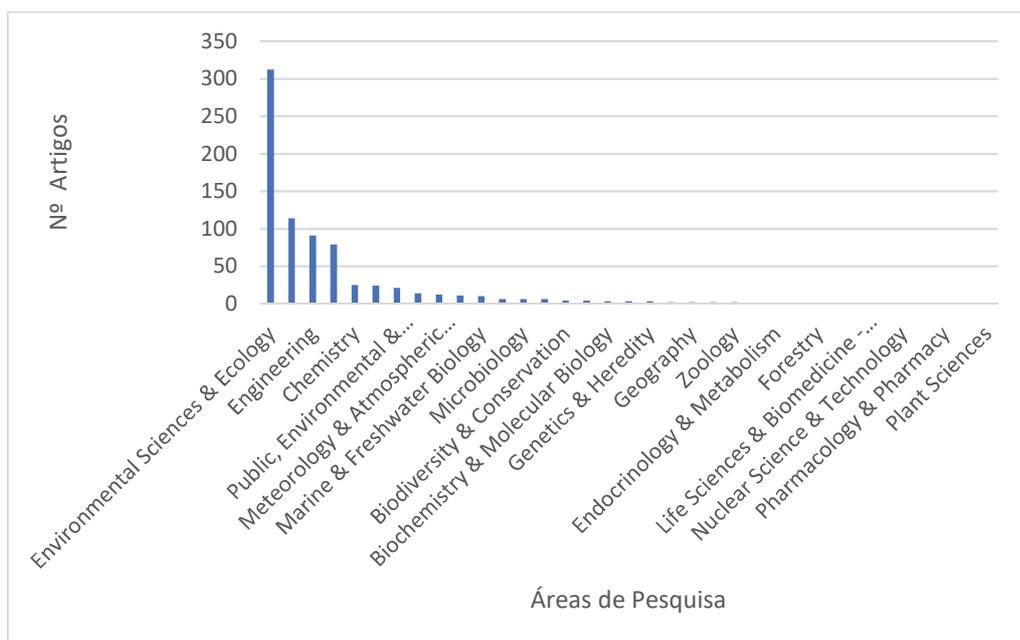


Figura 5: Número de artigos por área de pesquisa no mundo.

Em relação às áreas de pesquisa no mundo os artigos da pesquisa se dividiram em 35 diferentes áreas conforme Figura 5 abaixo. Dessas, apenas quatro correspondiam a mais de 77% do total de áreas pesquisadas. As quatro áreas mais utilizadas pelos autores foram ciências ambientais e ecologia com 312 artigos, recursos hídricos com 114, engenharia com 91 e geologia com 79. Salienta-se que algumas publicações foram classificadas em mais de uma área de estudo, sendo que alguns artigos possuíam, cada um, três ou mais áreas de pesquisas.

No Brasil, um total de 18 áreas diferentes abrangeram os 49 artigos da pesquisa conforme Figura 6 abaixo. Destas, 29 artigos estavam presentes nas áreas de ciências ambientais, 17 em recursos hídricos, 12 em geologia e nove em engenharia. Juntas corresponderam a mais de 76% de todas as áreas de pesquisa, portanto um padrão bastante semelhante ao que ocorreu no mundo, à exceção da área de geologia que esteve à frente da de engenharia. Salienta-se também neste caso que algumas publicações foram classificadas em mais de uma área de estudo.

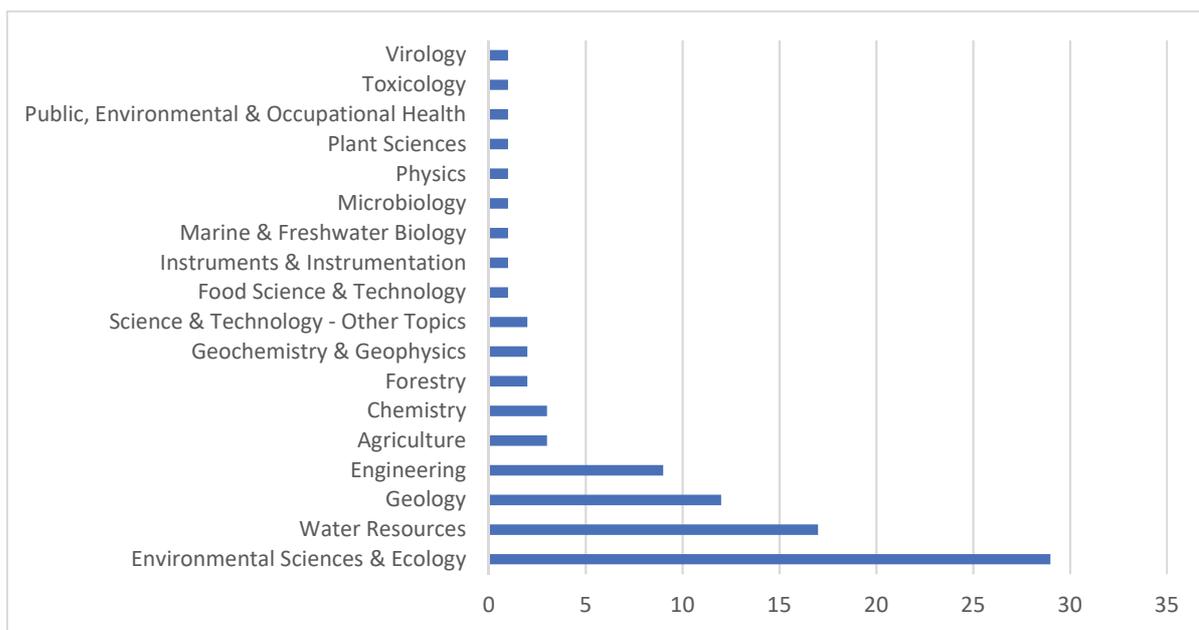


Figura 6: Número de artigos por área de pesquisa no Brasil.

Como o objetivo do estudo trata de contaminação de recursos hídricos por áreas de disposição de resíduos, esse resultado era mais do que esperado, pois são temas ambientais comumente abordados dentro dessas áreas de pesquisas. A área de engenharia também foi bastante utilizada, muito provavelmente em razão de que nas áreas de lixões/aterros se utilizam técnicas de engenharia como barreiras físicas e mantas de proteção contra lixiviados de aterros que auxiliam na proteção contra a contaminação de águas.

Por fim, quanto aos periódicos de publicação no mundo utilizados para os artigos da pesquisa, dos 478 artigos, obteve-se um total de 199 periódicos, sendo que os 25 mais utilizados representaram quase 50% dos escolhidos pelos autores para publicação, conforme Figura 7 abaixo. Quanto aos grupos editoriais, os periódicos pertencentes aos grupos Elsevier e Springer representaram mais de 51% do total.

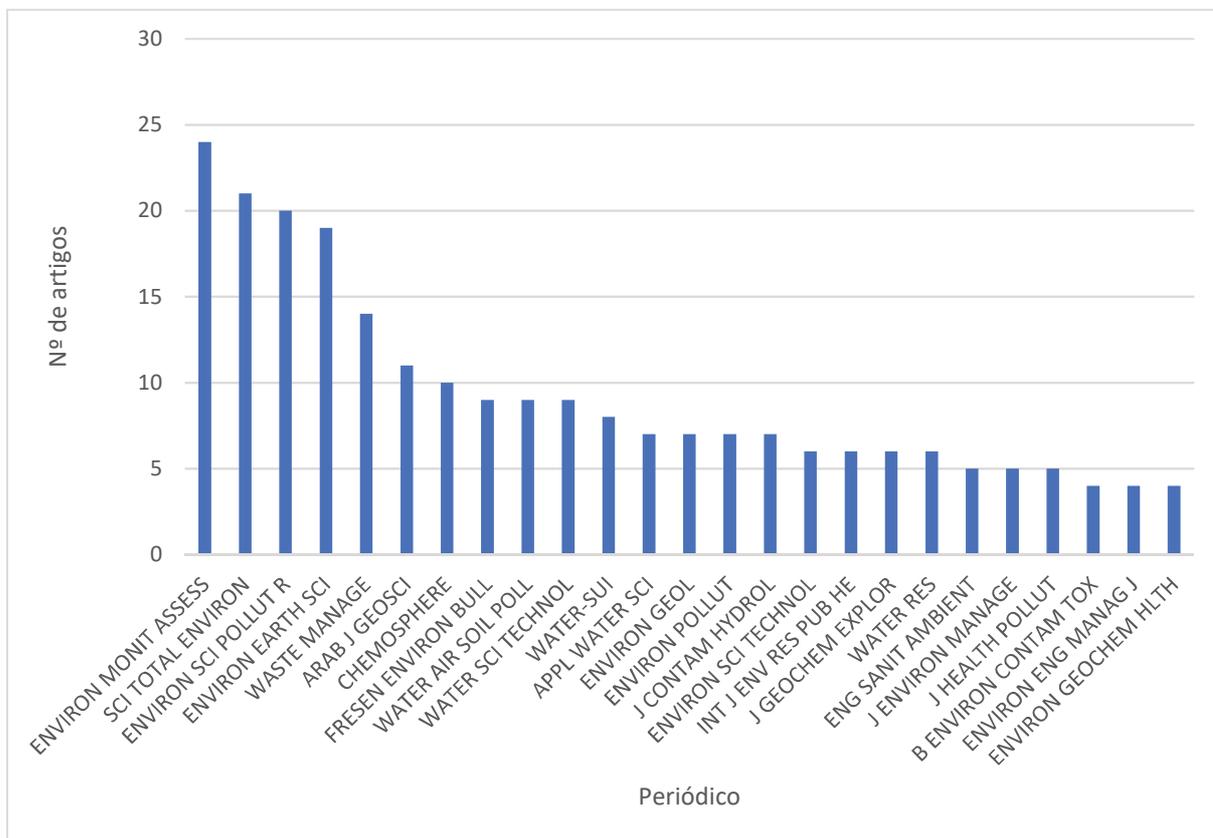


Figura 7: Número de artigos da pesquisa dos 25 periódicos mais utilizados no mundo.

No Brasil, dos 49 artigos da pesquisa, os autores publicaram em um total de 33 periódicos conforme Figura 8 abaixo. Destes, os 10 mais utilizados representaram quase 53% do total. Quanto à nacionalidade, somente 22% se tratavam de periódicos nacionais, enquanto quase 78% eram revistas estrangeiras, das quais mais de 55% pertencentes aos grupos editoriais Elsevier e Springer. Esses foram os grupos mais utilizados também no Brasil, o que demonstra clara preferência dos autores por periódicos desses editores.

Neubert *et al.* (2017) constataram algo semelhante em uma cienciometria de artigos da área de ciências biológicas onde encontraram uma concentração de publicações em poucos periódicos, principalmente nas áreas médicas e biológicas e que os grupos comerciais de publicação Elsevier, Springer e Wiley se destacaram.

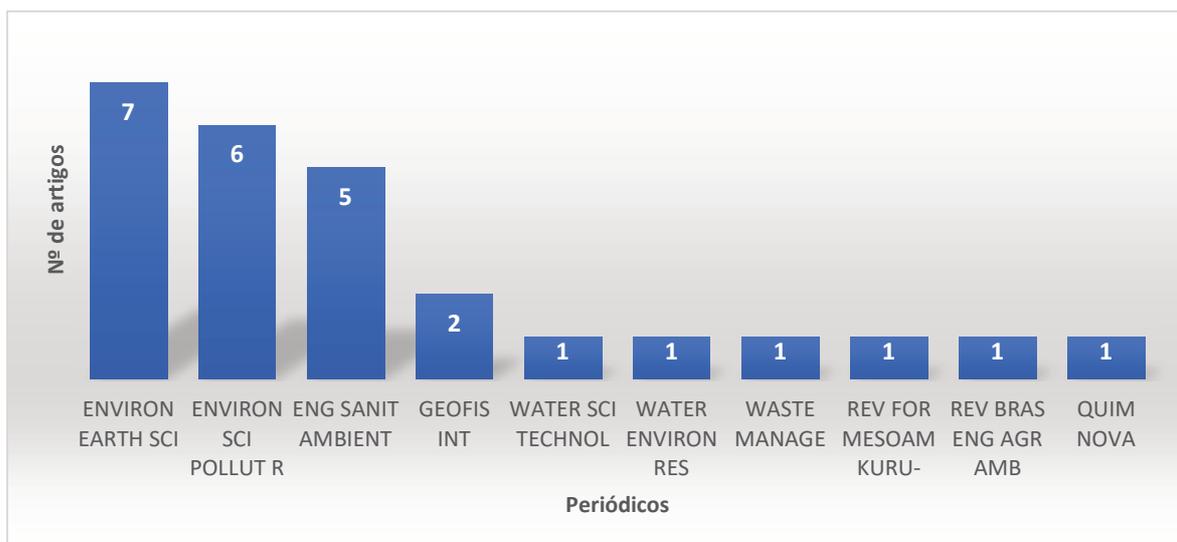


Figura 8: Número de artigos da pesquisa dos 10 periódicos mais utilizados no Brasil.

Segundo Larivière *et al.* (2015) uma das explicações para publicações de artigos em periódicos de alto impacto se deve à dependência criada em torno deles, sendo que jovens pesquisadores tendem a publicar em periódicos de alto prestígio almejando a estabilidade e pesquisadores mais experientes para manter suas bolsas, portanto proceder dessa forma é o que mais comumente ocorre na comunidade científica.

## Conclusão

A produção de artigos sobre contaminação de recursos hídricos por áreas de lixões e aterros sanitários apresentou um crescimento ao longo dos anos tanto no Brasil quanto no mundo, mas diante do grande universo de pesquisas sobre o tema resíduos sólidos urbanos, estes estudos mais específicos representam uma pequena parcela e, portanto, possuem potencial de crescimento.

No Brasil, menos da metade dos estados apresentaram estudos sobre contaminação de água por áreas de lixões e aterros, sendo que São Paulo se destacou como o estado com mais publicações, por conta, muito provavelmente, de possuir mais instituições de pesquisa. Se considerarmos que, conforme SNIS (2020), em torno de 73,8% dos municípios fazem a destinação em áreas de lixões, o potencial de contaminação de recursos hídricos é imenso, o que reforça a necessidade de incremento em pesquisas acerca deste tema.

Apesar desse tipo de pesquisa acompanhar o crescimento dos cursos de pós-graduação no Brasil, entende-se que o número de estudos é muito aquém do desejável, pois somente 49 trabalhos foram publicados em um período de 31 anos (1990-2021). Entretanto, considerando-se a utilização de somente uma base de dados, novas pesquisas devem ser realizadas em outras bases como, Scopus e Scielo, para observar se houve o mesmo resultado.

Por fim, a pesquisa mostrou que, na plataforma Web of Science, houve pouca publicação dos artigos no Brasil em periódicos nacionais, talvez em função de ser uma plataforma internacional de informações.

## Referências

AZEVEDO, N.T.; JUNCKES, I.J.; SILVA, E.A. Development and environmental sciences: analysing thematic networks of the research agenda in Brazil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*. Vol. 56, p. 158-182. 2021. DOI: 10.5380/dma.v56i0.73248.

CAPES. Plataforma Sucupira. Disponível em: <[http:// https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/](http://https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/)>, 2022.

DO PRADO, M. A.R.; NOGUEIRA, E. C. T. Da bibliometria à altmetria: primeiras aproximações. *Tópicos da bibliometria para bibliotecas universitárias*, p. 26, 2020.

DEUS, R.M.; BATTISTELLE, R.A.G.; SILVA, G.H.R. Solid Waste in Brazil: Context, Gaps and Trends. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 20. 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040129347.

GOUVEIA, N. Solid urban waste: socio-environmental impacts and prospects for sustainable management with social inclusion. *Ciência e Saúde Coletiva*, Vol. 17. 2012. DOI: 10.1590/S1413-81232012000600014.

HAN, G.S.; LUO, R.D.; SA, K.; ZHUANG, M.; LI, H. Bibliometric Analysis of Highly Cited Papers on Resources and the Environment in China. *Sustainability*. Vol.14. 2022. DOI: 10.3390/su14020604.

IRAWAN, D. E., PRIYAMBODHO, A., RACHMI, C. N., & WIBOWO, D. M. Looking at groundwater research landscape of Jakarta Basin for better water management. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 877. 2017. DOI:10.1088/1742-6596/877/1/012033.

JIANG, J.; TANG, S.; HAN, D.; FU, G.; SOMOMATINE, D.; ZHENG, Y. A comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environmental Modelling and Software*. 2020. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104792.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

LARIVIÈRE, V.; HAUSTEIN, S.; MONGEON, P. The Oligopoly of Academic Publishers in the Digital Era. PLoS ONE. Vol. 10. 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0127502

MACRI, L.M.S.R.; OLIVERA, M.M.; FONTGALLAND, I.L.; International panorama of scientific production on Environmental Economics: A bibliometric study. Research, Society and Development, v. 10, n. 3, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12450>.

NEUBERT, P.S.; RODRIGUES, R.S.; MÜLLER, Y. M. R. Periódicos científicos de ciências biológicas: estudo dos títulos classificados no estrato A1 do Qualis. Reciis – Rev. Eletron. Comun. Inf. Inov. Saúde. 2017. DOI: 10.29397/reciis.v11i3.1251.

PARRA, M.R.; COUTINHO, R.X.; PESSANO, E.F.C. Um Breve Olhar sobre a Cienciometria: Origem, Evolução, Tendências e sua Contribuição para o Ensino de Ciências. Editora Unijuí. 2019.

RODRIGUES, J.S.; CORDEIRO, J.; CALAZANS, G.M.; CORDEIRO, J.L.; GUIMARÃES, J.C.S. Presence of drugs and hormones in water: a scientometric analysis. Research, Society and Development. Vol. 7, n.6, p. 01-22. 2018.

SILVA, J.A.; BIANCHI, M.L.P. Scientometrics: the measurement of science. Paidéia. Vol. 11. 2001. DOI:10.1590/S0103-863X2001000200002.

SCImago. (2022). SJR — SCImago Journal & Country Rank. Disponível em: <<https://www.scimagojr.com/>>. Acesso em: 05 fevereiro de 2022.

SNIS. Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>>. Acesso em 05/02/2022.

WEB OF SCIENCE, Base de arquivos científicos. Disponível em: <<https://www.webofscience.ez163.periodicos.capes.gov.br/wos/>>. Acesso em 25/05/2021.

WU, D.S.; WANG, S.Y. Environment damage assessment: A literature review using social network analysis. Human and Ecological Risk Assessment. Vol. 24. Pg. 904-924. 2018. Doi: 10.1080/10807039.2017.1395687.

ZYOD, S.H.; AL-JABI, S.W.; SWEILEH, W. M.; AL-KHALIL, S.; ZYOD, S.H.; SAWALHA, A.F.; AWANG, R. The Arab world's contribution to solid waste literature: a bibliometric analysis. Journal of Occupational Medicine and Toxicology. Vol. 10. 2015. DOI 10.1186/s12995-015-0078-1.

## **CAPÍTULO 2**

### **IMPACTO AMBIENTAL DE LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS DE CORPOS HÍDRICOS DO ESTADO DE GOIÁS**

## Impacto Ambiental de Lixões e Aterros Sanitários em Águas Superficiais de Corpos Hídricos do Estado de Goiás

### Resumo

O lixo é um problema ambiental que acompanha o ser humano desde que passou a viver em comunidade. Isso se intensificou com o passar dos anos, mas a coleta e a disposição adequada foi se aprimorando. Toda atividade humana gera resíduo e a evolução tem aumentado ainda mais essa geração, por isso é importante a correta destinação visando causar menor dano ao meio ambiente e à saúde humana. No Brasil a disposição se dá, principalmente, por meio de aterros sanitários e lixões, sendo esse último o tipo mais comum. Em Goiás o problema é ainda maior, pois 93,49% dos municípios dispõem o lixo de forma inadequada. Mesmo com a Lei de resíduos sólidos a situação vem se arrastando no Brasil e a disposição de forma errada predomina. As consequências implicam na contaminação do solo, águas e ar. A qualidade da água superficial sofre direta contaminação dependente do tipo de uso do solo ao redor, inclusive de áreas de disposição de resíduos, portanto avaliar a qualidade é uma necessidade primordial. Usar indicadores físicos, químicos e biológicos para avaliar a qualidade de amostras de água são artifícios utilizados pela ciência para mitigar o impacto. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o possível impacto ambiental de áreas de aterros e lixões na qualidade da água de cursos d'água próximos. Para isso fez-se coleta de amostras de água em 10 diferentes mananciais, sendo cinco próximos a aterros sanitários e cinco próximos a lixões. Em cada curso foram feitas coletas em dois diferentes pontos, um a montante e outro a jusante. Com o intuito de saber se há padrões de contaminação diferentes entre mananciais próximos a aterros e lixões, após coletadas, as amostras foram analisadas quanto a parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos em *Allium cepa*. Concomitantemente, fez-se análises, com auxílio de geoprocessamento, de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas dos pontos de coleta a fim de determinar se essa informação poderia também explicar padrões de diferenciação na qualidade da água dos mananciais. Resultados indicaram: na análise microbiológica contaminação de 100% dos pontos coletados com coliformes totais e *Escherichia coli*, independente do local e do tipo de deposição; nas análises físico-químicas todos os parâmetros estavam de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, exceto a cor, que não se enquadrou em três pontos de coleta; não se encontrou diferenças entre parâmetros físico-químicos entre amostras de água próximas a aterros e lixões e também a montante e jusante; não houve diferenças no comprimento de raízes de *Allium cepa* entre aterros sanitários, porém se diferenciaram do controle; entre lixões houve diferenças no comprimento de raízes de cebola de um local para os outros; a análise de PCA entre variáveis físico-químicas, de comprimento de raiz e uso do solo mostraram que a condutividade, a formação florestal, a savânica e campestre foram as variáveis que mais influenciaram na diferenciação entre as amostras.

Palavras-chave: córrego, resíduos sólidos, geoprocessamento, microbacia

## Abstract

Garbage is an environmental problem that has accompanied human since they started to live in a community. This was intensified over the years, but the collect and correct disposal were improved. All human activity generates waste and the evolution has increased this generation even more, so the correct destination is important in order to cause less damage to the environment and human health. In Brazil, the disposal occurs mainly in sanitary landfills and dumps, the latter is the most common type. In Goiás, the problem is even greater, as 93.49% of the municipalities dispose of their garbage improperly. Even with the Solid Waste Law, the situation has been dragging on in Brazil and the wrong disposal predominates. The consequences imply the contamination of soil, water and air. The quality of surface water suffers direct contamination depending on the type of use of the surrounding soil, including areas of waste disposal, therefore evaluating the quality is a primordial need. Using physical, chemical and biological indicators to assess the quality of water samples are used by science to mitigate the impact. Therefore, the objective of this work is to evaluate the possible environmental impact of landfill areas and dumps on the water quality of nearby water courses. For this, water samples were collected in 10 different springs, five close to sanitary landfills and five close to dumps. In each course, samples were collected at 2 different points, one upstream and the other downstream. In order to find out if there are different contamination patterns between springs close to landfills and dumps, after being collected, the samples were analyzed for physical-chemical, microbiological and ecotoxicological parameters in *Allium cepa*. At the same time, analyzes were carried out, with the aid of geoprocessing, of land use in the hydrographic basins of the collection points in order to determine whether this information could also explain patterns of differentiation in the quality of water in the springs. Results indicated: in the microbiological analysis, contamination at all points collected with total coliforms and *Escherichia coli*, regardless of the location and type of deposition; in the physical-chemical analysis, all parameters were in accordance with CONAMA resolution 357/2005, except color, which did not fit into three collection points; no differences were found between physical and chemical parameters between water samples close to landfills and dumps and also upstream and downstream; in the length of *Allium cepa* roots between landfills there were no differences, but they differed from the control; between dumps there were differences in the length of onion roots from one location to the others; PCA analysis between physicochemical, root length and land use variables showed that conductivity, forest formation, savanna and grassland were the variables that most influenced the differentiation between the samples.

Keywords: stream, solid waste, geoprocessing, microbasin

## Introdução

Desde quando o ser humano passou a viver em comunidade a questão do lixo tornou-se um problema que o acompanha desde então. Sumérios, Assírios, Hindus, Egípcios, Gregos e Romanos lidavam constantemente com águas sujas de banho, de limpeza de pavimentos e se preocupavam com a destinação de cadáveres (EIGENHEER, 2009). Ainda segundo o mesmo autor, a preocupação se intensificou na Idade Média com o crescimento populacional e o surgimento de epidemias decorrentes do acúmulo de dejetos e falta de saneamento. Os anos foram se passando e os sistemas de coleta e disposição de lixo foram se aprimorando, muito embora ainda hoje o problema seja algo bastante preocupante, principalmente no Brasil.

Praticamente toda atividade humana gera resíduos que precisam ser descartados de forma adequada. O simples fato de fazer a higiene pessoal, por exemplo, gera uma quantidade enorme de resíduos, como embalagens de sabonete, de papel higiênico, de pasta dental, efluentes químicos da higienização que vão para o esgoto, etc. Isso se intensifica considerando o nível evolutivo da população, o grau da urbanização, o poder econômico das pessoas, dentre outros fatores (JUCA *et al.*, 2014).

A disposição inadequada de resíduos sólidos é um dos maiores problemas oriundos das atividades humanas, pois acarretam distúrbios sociais e, principalmente, ambientais. A manutenção da qualidade dos recursos naturais dos ecossistemas como a água, o ar e o solo se torna um desafio para a ciência mundial (ABRELPE, 2016). Conforme a norma ABNT 10004, os principais resíduos sólidos provenientes das atividades humanas se dividem em industriais, urbanos, hospitalares, comerciais, agrícolas e de serviços. Ainda segundo a norma, os resíduos se qualificam em perigosos e não perigosos. Os perigos dos resíduos são intrínsecos quanto às suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Todas essas características trazem enormes riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

A forma correta de tratar e destinar o resíduo é condição primordial na preservação dos recursos naturais e na sustentabilidade ambiental. Uma das medidas de contenção mais difundidas e utilizadas contra os efeitos maléficos dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido a sua correta disposição (ABRELPE, 2021). A disposição dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é feita basicamente de três formas diferentes, lixão, aterro controlado e aterro sanitário, sendo que 73,8% são dispostos em lixões, 14,6% em aterros sanitários e 11,6% em aterros controlados (SNIS, 2020), ou seja, atualmente, a maioria dos municípios do Brasil ainda dispõe os resíduos inadequadamente na forma de lixões.

Com relação ao estado de Goiás, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (PERS, 2017) mostra que dos 246 municípios, 230 (93,49%) dispõe os resíduos em lixões ou aterros controlados não licenciados ambientalmente e somente 16 dispõe em aterros sanitários com licença. Ainda segundo o plano, estima-se uma geração de aproximadamente 4.000 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos em Goiás. Alia-se ao fato de que, conforme o último censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o estado de Goiás possui 90,29% da sua população em áreas urbanas, logo a quantidade de RSU no estado é quase totalmente urbana com muitos municípios com depósito em lixões.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei 12.305/2010 (Brasil, 2010), foi o instrumento legal criado responsável por definir os princípios, os objetivos e instrumentos de uma gestão integrada de resíduos sólidos. Nela ficou estabelecido que até 2014 todos os municípios brasileiros deveriam dispor o lixo de modo ambientalmente adequado, porém esse prazo foi estendido para o final de 2020 e dependendo do caso, até agosto de 2024. Entretanto, percebe-se de modo geral uma fraca adesão dos municípios quanto ao pleno cumprimento da legislação. Por exemplo, Maiello *et al.* (2018) identificou um fraco comprometimento de 21 municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro quanto à gestão dos RSU, muito devido ao baixo orçamento destinado para esse fim e pela falta de coordenação articulada entre a união e o estado no cumprimento da PNRS. Bezerra *et al.* (2021) evidenciaram a dificuldade de implementação da PNRS pelos gestores municipais com a necessidade de revisar a lei de crimes ambientais nº 9.605/98 (BRASIL, 1998) com intuito da efetividade ambiental da administração pública quanto ao cumprimento da lei de resíduos sólidos.

A disposição inadequada de resíduos pode ser responsável por contaminar o solo, as águas e o ar até mesmo após o encerramento das atividades na área (SCHUELER e MAHLER, 2007). Segundo Santos (2008), os processos de decomposição do lixo produzem o chorume que muitas vezes percola no perfil do solo atingindo o lençol freático com alto poder poluidor, superior até ao esgoto doméstico, podendo ocasionar graves impactos ao meio ambiente.

Diversos tipos de efluentes são descartados diretamente nos cursos d 'água. Muitos deles não possuem qualquer tipo de tratamento e grande parte são oriundos das atividades humanas, como esgotos domésticos (Marques *et al.*, 2012). As áreas de lixões e aterros não são diferentes, pois contribuem com o lançamento de chorume diretamente nos mananciais ou por percolação no solo. Morita *et al.* (2020) identificou em um lixão desativado altos índices de metais pesados em águas subterrâneas com potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

A qualidade da água bruta superficial de um manancial é dependente das atividades humanas e do meio ambiente onde o curso d'água está inserido. Shi *et al.* (2017) avaliaram a qualidade da água em um rio e identificaram forte relação entre a qualidade da água com o tipo de uso da terra, sendo que manchas urbanas ao longo do rio propiciaram impactos negativos na qualidade da água. Gonçalves e Rocha (2016) concluíram que a qualidade das águas foi menor em locais com manejo mais intensivo dos solos onde há mais cultivo. Araújo *et al.* (2018) demonstrou que o uso e cobertura do solo nas microbacias influenciaram nos parâmetros da qualidade da água analisados. Nascimento *et al.*, 2015 também observou variações na qualidade da água decorrente das atividades antrópicas como despejo de resíduos domésticos líquidos, deflúvio superficial urbano, assoreamento, disposição inadequada de resíduos sólidos e erosão do solo.

Avaliar essa qualidade torna-se uma necessidade primordial na segurança ambiental tanto que a lei 9.433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos - (BRASIL, 1997) em seu artigo 2º traz como um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Costa (2014) relata que há vários métodos para avaliar a qualidade das águas, como os que se embasam em índices de qualidade ambiental (IQA), os que observam limites legais, dentre outros. Que a determinação varia de acordo com o objetivo do estudo, se é algo mais local ou mais amplo, que neste caso seria mais usual a utilização de índices.

Dentre os parâmetros de qualidade utilizados para avaliar o grau de contaminação de águas, tem-se indicadores físicos, químicos e biológicos. A utilização desses três métodos de análise de água foi utilizada por Bailão *et al.* (2020) em um curso hídrico de baixa ordem que permitiu concluir que a qualidade da água do manancial era imprópria para uso e que ações de preservação eram urgentes. Junior *et al.* (2019) conseguiram identificar através de análises físico-químicas indícios de poluição com amônia e mudanças no pH. O teste de eco e genotoxicidade em *Allium cepa* é um método biológico bastante utilizado na comunidade científica como bioindicador de qualidade da água. Silva *et al.* (2017) não encontrou genotoxicidade significativa em amostras de água do Rio Pardo/BA, mas concluiu ser uma importante ferramenta para avaliar a contaminação.

A importância do monitoramento da qualidade ambiental de águas advindas de resíduos sólidos se tornou em um dos principais temas de pesquisa em artigos mundiais. Yang *et al.* (2013) identificaram através de uma pesquisa bibliométrica que “águas residuais” esteve entre os principais tópicos pesquisados. Silva *et al.* (2018) é um dos exemplos de autores que

estudou o tema reforçando a importância da contaminação de águas advinda de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos dizendo que a localização do lixão em cota mais elevada e a alta pluviosidade favoreceram a contaminação das águas devido ao escoamento superficial.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto ambiental de áreas de lixões e aterros sanitários sobre a qualidade da água bruta superficial de mananciais próximos. Para isso, foram utilizados parâmetros físico-químicos de amostras de água, um teste microbiológico para detecção de *Escherichia coli* e coliformes totais, um teste em *Allium cepa* e uma análise de uso e ocupação de solo de microbacias.

## Material e Métodos

- Escolha dos pontos de coleta objetos de estudo

Foram selecionados os mananciais objetos de estudo, sendo cinco próximos a lixões e cinco próximos a aterros sanitários. Os municípios escolhidos com aterros sanitários foram: Goiânia, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo, Anápolis e Trindade. Os que possuem lixões foram: Morrinhos, Itumbiara, Inhumas, Anicuns e Indiara. Em consulta ao Site do IBGE, priorizou-se municípios com mais de 50 mil pessoas, uma vez que produzem um volume maior de resíduos sólidos e, conseqüentemente, um maior potencial contaminante.

Tabela 1: Identificação e localização em graus decimais dos pontos de coleta dos mananciais.

Ponto	Latitude	Longitude	Jusante/montante	Curso	Município
A1J	-16.6479	-49.53772	Jusante ao aterro	Cor. Barro Branco	Trindade
A1M	-16.6807	-49.51679	Montante ao aterro		
A2J	-16.4327	-49.95628	Jusante ao lixão	Cor. do Cavalo	Anicuns
A2M	-16.4390	-49.9856	Montante ao lixão		
A3J	-16.3165	-49.52452	Jusante ao lixão	Cor. das Lages	Inhumas
A3M	-16.3243	-49.54007	Montante ao lixão		
A4J	-16.6671	-49.12462	Jusante ao aterro	Cor. Retiro	Senador Canedo
A4M	-16.6566	-49.11506	Montante ao aterro		
A5J	-18.3652	-49.27175	Jusante ao lixão	Cor. do Bálsamo	Itumbiara
A5M	-18.3762	-49.28324	Montante ao lixão		
A6J	-17.7844	-49.13172	Jusante ao lixão	Rib. Paraíso	Morrinhos
A6M	-17.7822	-49.17036	Montante ao lixão		
A7J	-16.2854	-48.87833	Jusante ao aterro	Rio das Antas	Anápolis
A7M	-16.2897	-48.91663	Montante ao aterro		
A8J	-16.7915	-49.16758	Jusante ao aterro	Cor. Sto Antônio	Ap. de Goiânia
A8M	-16.7766	-49.20864	Montante ao aterro		
A9J	-16.6544	-49.35932	Jusante ao aterro	Rib. Caveirinha	Goiânia
A9M	-16.6471	-49.37771	Montante ao aterro		
A10J	-17.1705	-49.98374	Jusante ao lixão	Cor. Chupete	Indiara
A10M	-17.1553	-49.97929	Montante ao lixão		

Fonte: Autor.

Os cursos d'água englobam importantes bacias hidrográficas de Goiás como a bacia do Rio Meia Ponte, do Rio dos Bois, do Rio Corumbá, do Rio Piracanjuba e do Ribeirão da Trindade. Todas elas pertencem à macrobacia do Rio Paranaíba. De todos os mananciais objetos do estudo, o Córrego Santo Antônio em Aparecida de Goiânia e o Rio das Antas em Anápolis são os que mais sofrem influência antrópica do perímetro urbano dessas cidades, pois passam por vários bairros antes de se aproximarem das áreas de seus aterros sanitários.

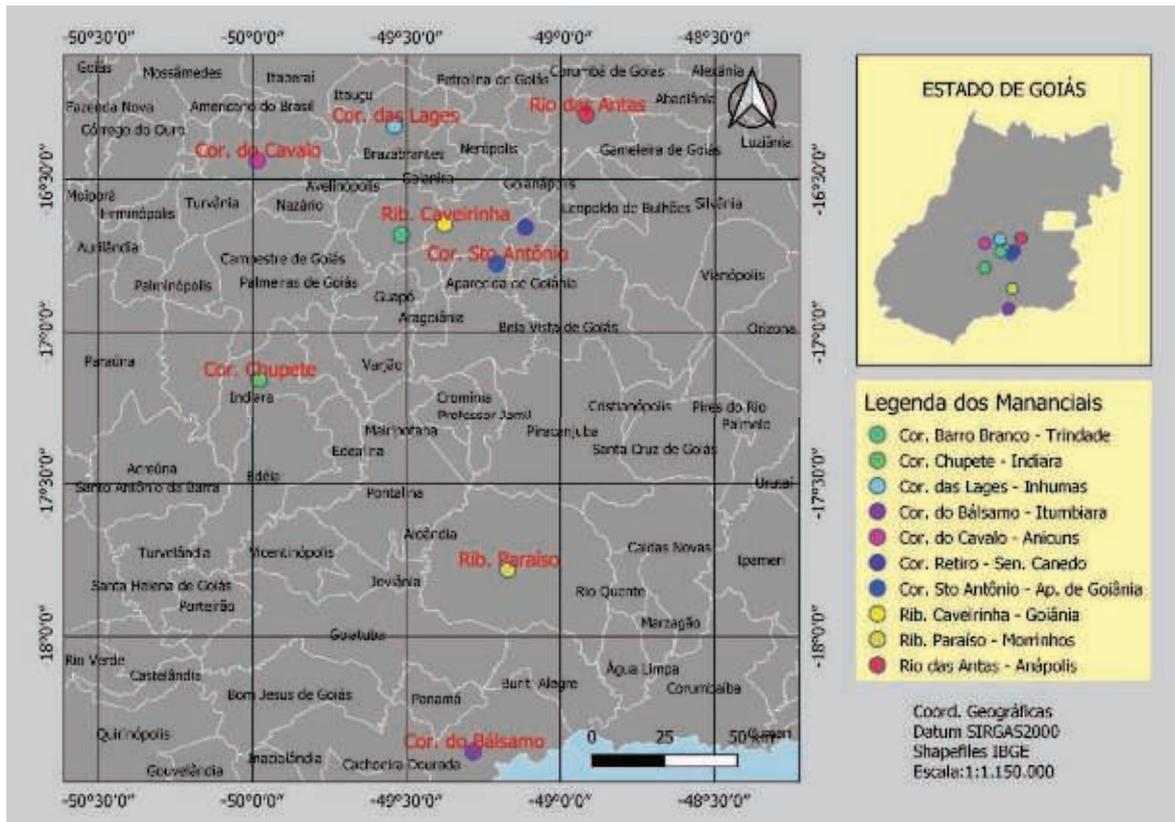


Figura 1: Mapa de localização dos mananciais. (Fonte: autor)

A determinação dos pontos de coleta a montante e a jusante nos mananciais está relacionada com a bacia de contribuição de cada ponto. O ponto a montante no manancial corresponde ao local onde a sua bacia hidrográfica não abrange a área de lixão/aterro, portanto não haveria neste ponto contribuição hidrológica da área de disposição de resíduo próxima. Ao contrário, o ponto a jusante receberia essa contribuição, pois sua bacia engloba a área de disposição de resíduos. A delimitação das bacias hidrográficas dos pontos se deu através de geoprocessamento com uso do software livre QGIS 3.10 e pacote GRASS.

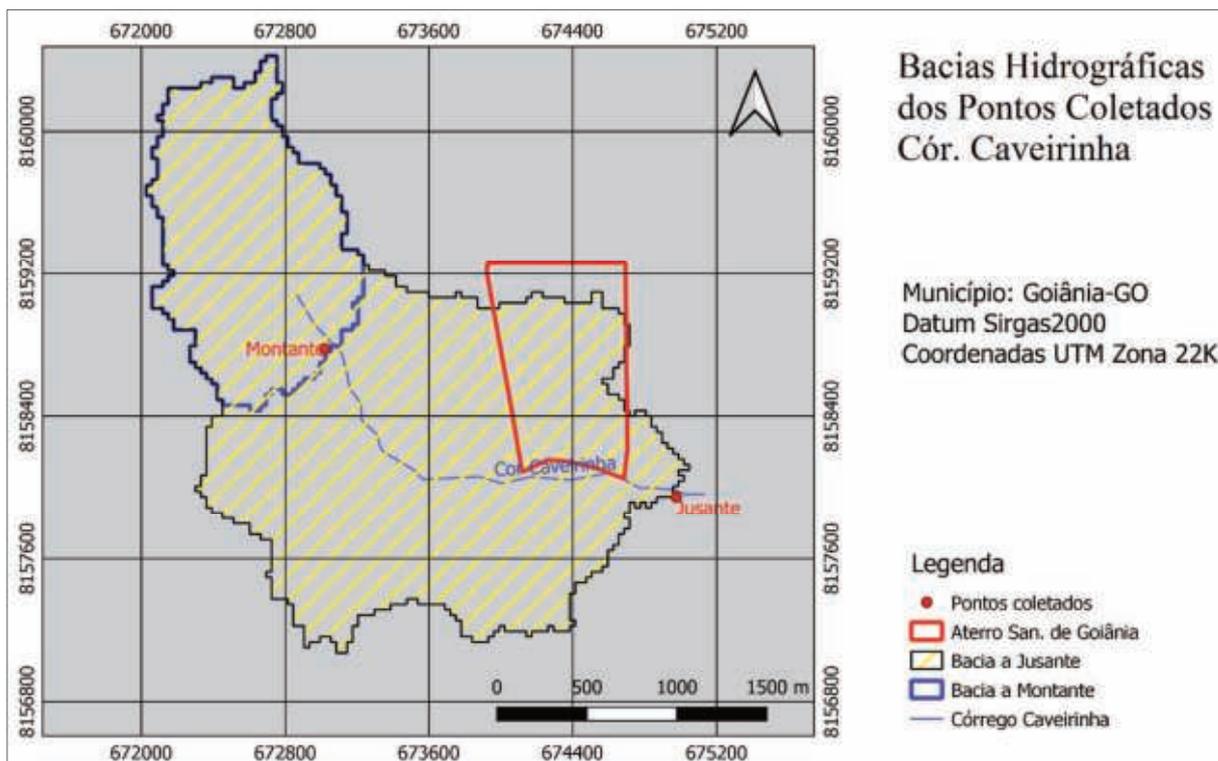


Figura 2: Bacias hidrográficas dos pontos a jusante e montante no Córrego Caveirinha.

Os processos de delimitação foram adaptados de Silva *et al.* (2017) onde, primeiramente, fez-se o *download* gratuito de imagens raster de radar do tipo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) no site do *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS). Essa imagem possui, em cada pixel de 30 metros, a informação topográfica de altitude (em metros) do local. A imagem foi reprojeta em coordenada UTM (Universal no datum Sirgas2000/zona 22K e depois os pixels vazios foram eliminados com a ferramenta de preenchimento de dados. Depois, utilizando a função “*r.watershed.*” do GRASS, selecionou-se a camada original reprojeta e preenchida definindo um valor mínimo do exterior da bacia em 500 e ignorando todas as saídas do algoritmo à exceção da Direção de drenagem e segmento de fluxo. Com isso, foram geradas duas novas camadas no QGIS com mesmo nome, sendo que a camada “direção de drenagem” foi utilizada como parâmetro de entrada para a função “*r.water.outlet*” onde foi determinado um ponto exutório de geração da bacia. Caso a escolha do ponto exutório dentro do manancial e dentro da camada “segmento de fluxo” resultasse em uma bacia que compreendesse a área de lixão/aterro, então considerou-se como sendo o ponto a jusante. Caso resultasse em uma bacia sem englobar essas áreas, considerou-se como o ponto a montante. As bacias geradas dos pontos corresponderam a uma imagem raster cortada da imagem raster SRTM original e que engloba

os dados de altitude de toda a bacia gerada. Ressalta-se que a bacia a jusante sempre engloba a bacia a montante, conforme figura 2.

As coordenadas geográficas de localização tanto das áreas dos lixões/aterros quanto dos pontos de amostragem foram coletadas no campo com o auxílio de um GPS de navegação da marca Garmin modelo Oregon 750, que possui precisão de 3m segundo o fabricante.

- Amostragem da água

Após determinação da localização dos pontos de amostragem a montante e a jusante, fez-se coletas de amostras compostas de água nos 10 diferentes mananciais, totalizando 20 amostras. Em cada um dos pontos a amostragem foi resultante de uma mistura de três coletas aleatórias próximas para compor a amostra.

As amostras foram coletadas em dois diferentes momentos. Para as análises microbiológicas as coletas ocorreram nos dias 28, 29 e 30/04/2021 e 03 e 04/05/2021 e as análises em laboratório nos dias 03, 04 e 05/05/2021. Para as análises físico-químicas e o estudo em *Allium cepa*, novas amostras foram coletadas nos dias 28 e 29/06/2021 e 03/07/2021, com análises laboratoriais nos dias 30/06/2021 e 04/07/2021. A temperatura, umidade relativa e precipitação nos dias de coleta estão conforme dados da Tabela 2 abaixo. Ressalta-se que as coletas se deram em um período sem ocorrência de precipitação para que não houvesse influência de lixiviados ou de escoamento superficial de efluentes das bacias nos mananciais, que poderiam mascarar as características das amostras coletadas.

Tabela 2 : Dados climáticos diários dos locais de coleta.

Data coleta	Locais	Temp. máxima/min (°C)	Precipitação (mm)	Umid. Relat (%)
28/4/21	Goiânia e Aparecida de Goiânia	31-18	0	37-91
29/4/21	Inhumas, Trindade e Anicuns	31-17	0	35-89
30/4/21	Morrinhos	26-17	0	58-81
30/4/21	Itumbiara	29-18	0	51-73
3/5/21	Senador Canedo	30-16	0	30-86
3/5/21	Anápolis	26-13	0	39-92

4/5/21	Indiara	30-17	0	33-88
28/6/21	Goiânia, Aparecida de Goiânia e Senador Canedo	29-11	0	23-89
28/6/21	Anápolis	26-13	0	30-86
29/6/21	Inhumas, Trindade e Anicuns	21-13	0	51-87
3/7/21	Morrinhos	27.4-12	0	26-91
3/7/21	Itumbiara	29.6-15	0	24-79
3/7/21	Indiara	30-15	0	24-65

Fonte: INMET, 2021.

Como referência para as coletas das amostras foi utilizado o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB/ANA (CETESB, 2011) que demonstra os procedimentos de coletas para os mais diversos tipos de água. Utilizou-se a metodologia de coleta para águas superficiais brutas.

Para acondicionamento das amostras utilizou-se um frasco de 600 mL de vidro de borossilicato previamente limpo com detergente alcalino 0,1% e água destilada. Os frascos foram vedados com rolha de cortiça esterilizada.

O protocolo de coleta consistiu em captar a amostra diretamente no manancial com um balde de aço inox AISI 316L polido de 15 litros previamente limpo e tratado com H<sub>3</sub>NO antes de cada ponto de coleta. Retirou-se amostras nos primeiros 30 cm de lâmina d'água, o que corresponde a uma amostra de água superficial. Em cada ponto foi coletada uma certa quantidade de água com o balde e posteriormente colocado, com o auxílio de um funil, no frasco de acondicionamento de 600 mL de vidro de borossilicato sem, contudo, enchê-lo. O mesmo procedimento foi feito mais duas vezes até o completo enchimento do frasco. Posteriormente o frasco era acondicionado em um isopor com gelo no campo e por fim transferido e guardado sob temperatura de 5 °C até o dia da análise em laboratório.

- Análise microbiológica para detecção de coliformes totais e *Escherichia coli*

Na análise foi empregado o kit rápido denominado Aquatest Coli® (Laborclin, 2019) que detecta qualitativa e quantitativamente coliformes totais e *Escherichia coli*. Toda a vidraria utilizada foi previamente lavada e autoclavada para garantir a esterilidade necessária.

Conforme bula do teste Aquateste coli e metodologia descrita por Mattos *et al.* (2017), em um erlenmeyer de vidro graduado, misturou-se 100 mL de amostra de água a um flaconete de meio de cultura do kit até sua completa homogeneização. Após isso, o conteúdo foi transferido para cinco diferentes tubos de ensaio devidamente identificados. O mesmo procedimento se deu para todas as 20 amostras, totalizando 100 tubos.

Para validação do teste, foram feitas duas amostras controles, sendo um controle negativo com água de torneira adicionada a um flaconete de meio de cultura do kit e um controle positivo com água de torneira adicionada com flaconete de meio de cultura e inoculada com a bactéria *Escherichia coli*. Os controles também foram distribuídos em cinco tubos de ensaio. Os procedimentos foram realizados em uma cabine de segurança biológica classe II e todos os critérios de biossegurança foram adotados.

Feito isso, os tubos de ensaio com as diversas amostras foram incubados à temperatura de 35 °C +/- 0,5°C por 24 horas. Após esse período, caso a coloração resultante do tubo fosse amarela, confirmaria a presença de coliformes totais. Caso apresentasse fluorescência azul esverdeada quando submetido à luz ultravioleta, o resultado indicaria a presença, concomitante, de *Escherichia coli*.

- **Análise físico-química**

As análises dos parâmetros físico-químicos das 20 diferentes amostras coletadas nos 10 mananciais do estudo obedeceram às metodologias expressas no livro de Baird et al (APHA 2017).

Para análise da Condutividade elétrica utilizou-se um condutivímetro, para a cor aparente e DQO (Demanda química de oxigênio) um Espectrofotométrico, para o pH (potencial hidrogeniônico) um Potenciométrico e para a Turbidez um Nefelométrico.

De acordo com o parâmetro de interesse a análise procedeu conforme a seguir:

- **demanda bioquímica de oxigênio (5220C):** Foram adicionados 1,5 mL da solução de digestão (dicromato de potássio + sulfato de mercúrio) no tubo de DQO e em seguida adicionado 3,5 mL da solução de ácido sulfúrico + sulfato de prata, e 2,5 mL da amostra bruta com o auxílio da micropipeta de volume fixo. Foi preparado um “branco” adicionando 2,5 mL de água destilada ao tubo de DQO em substituição da amostra. Destaca-se que todo o procedimento citado foi realizado na capela de exaustão de gases. O tubo foi fechado e o conteúdo homogeneizado antes de colocá-las no bloco digestor. O digestor foi ligado

previamente até que a temperatura desejada (150 °C) fosse atingida. Os tubos de DQO foram introduzidos no digestor e por duas horas foram digeridos e após as duas horas e o resfriamento da amostra a leitura foi realizada no espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg. L<sup>-1</sup> (miligrama por litro);

- ✓ ph (4500 -h+): inicialmente o phmetro foi calibrado utilizando as soluções padrões 4 e 7. Após, as amostras em temperatura ambiente foram transferidas para um becker e individualmente o eletrodo do phmetro foi inserido na amostra para a leitura do resultado;
- ✓ condutividade elétrica (2510): inicialmente o condutivímetro foi calibrado e após, as amostras em temperatura ambiente, foram transferidas para um becker e individualmente o eletrodo foi inserido na amostra e, em seguida, o resultado anotado após a estabilização. O resultado foi expresso em  $\mu\text{s cm}^{-1}$  (microsiemens por centímetro);
- ✓ turbidez (2130): A amostra em temperatura ambiente foi transferida para uma cubeta de 10 mL. Após a limpeza da cubeta com papel macio a amostra foi inserida no equipamento e realizada a leitura em NTU (Nephelometric Turbidity Unit);
- ✓ cor aparente (2120C): A amostra em temperatura ambiente foi transferida para uma cubeta de 10 mL. Após a limpeza da cubeta com papel macio a mesma foi inserida no equipamento e realizada a leitura em PtCo (Escala platina-cobalto).

- **Análise de ecotoxicidade em *Allium cepa***

Os bulbos de cebolas (*Allium cepa*) foram adquiridos comercialmente em Goiânia/GO e apresentavam as mesmas características de procedência, tamanho, ausência de enraizamento e saudáveis. A primeira etapa correspondeu à limpeza e raspagem superficial dos bulbos, depois foram colocados em água destilada por 48 h para estimulação do meristema radicular em temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Após esse período, os bulbos enraizados foram aleatoriamente distribuídos para cada grupo de exposição em triplicata por 72 h. O grupo controle negativo foi exposto a 50 mL de água destilada. Os demais grupos foram expostos a 50 mL das amostras de água coletadas dos diferentes mananciais à montante e jusante.

Ao final do período de exposição de 72 h, foi feita uma análise macroscópica do comprimento das raízes para determinar o índice de toxicidade. Em cada bulbo, foi mensurado, com o auxílio de uma régua, o comprimento (cm) das três maiores raízes existentes. Os

resultados obtidos, em relação aos tamanhos das raízes nas substâncias testes, foram comparados ao grupo controle negativo para determinação da toxicidade.

- Caracterização do uso do solo dos locais amostrados

O procedimento de obtenção da quantificação das classes de uso das bacias foi adaptados de Gonçalves e Ribeiro (2021) onde utilizando o *software* de geoprocessamento QGIS 3.10, após definição dos pontos de coleta das amostras e das imagens raster das bacias hidrográficas feitas anteriormente, fez-se a transformação dos dados raster das bacias em *shapefiles* vetorizados de forma a mostrar somente a delimitação de cada uma.

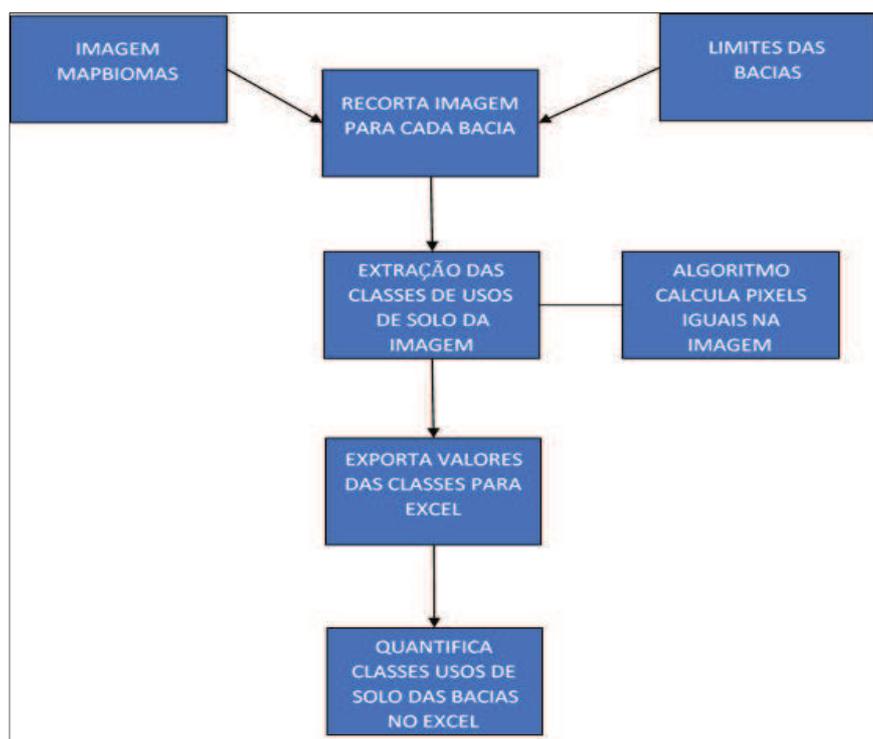


Figura 3: Esquema de quantificação de uso de solo usando geoprocessamento.

Fez-se, posteriormente, o *download* da imagem raster de satélite classificada de 2019 do bioma Cerrado constante na Coleção 5 da plataforma Mapbiomas.org (Mapbiomas, 2019). Conforme a plataforma, o produto final desta imagem é resultante do cruzamento de informações ambientais de mosaicos de imagens de satélites Landsat 5, 7 e 8 do ano de 2019. Nela constam os diversos tipos de usos de solo já devidamente classificados.

No QGIS 3.10, recortou-se a imagem raster classificada tomando como base a delimitação vetorial de cada bacia dos pontos de coleta. Desta forma, foram geradas novas camadas raster classificadas do ano de 2019 para cada uma das 20 bacias hidrográficas. Reportou-se os valores únicos dos pixels desta imagem em hectares das camadas e depois

transferiu-se esses valores a uma planilha do *software Microsoft Excel*. Com isso, foi possível calcular as áreas dos diferentes usos de solo de cada uma das bacias. As classificações de uso de solo encontradas nos mais diversos pontos foram: Formação florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Pastagem, Cana, Infraestrutura Urbana, Outras áreas não vegetadas, Rio/lago, Lavoura Perene, Soja e outras lavouras temporárias.

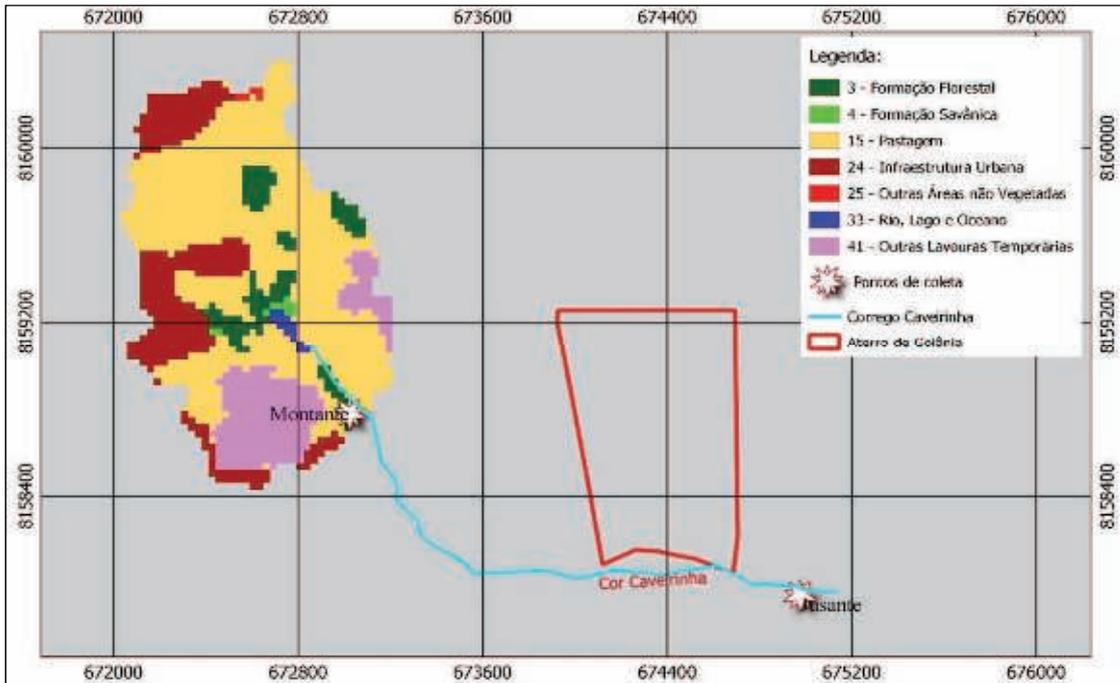


Figura 4: Mapa do uso do solo da bacia hidrográfica do ponto a montante no Córrego Caveirinha em Goiânia-GO (Fonte: autor).

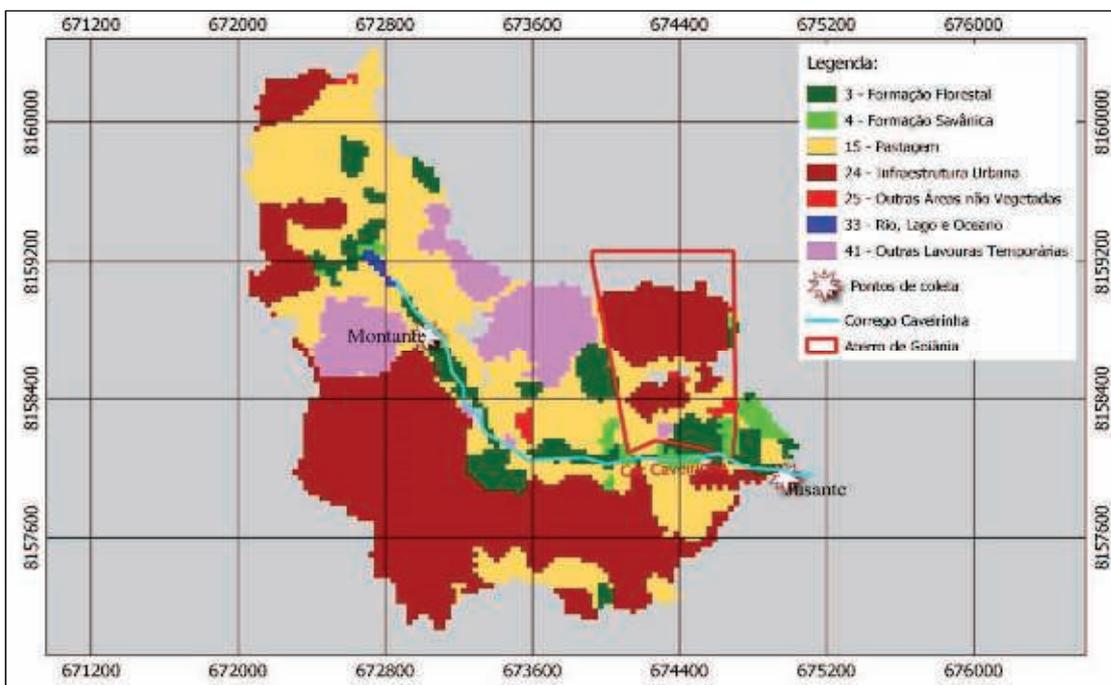


Figura 5: Mapa do uso do solo da bacia hidrográfica do ponto a jusante no Córrego Caveirinha em Goiânia-GO (Fonte: autor).

- Testes estatísticos:

Para as análises estatísticas foram utilizados os *softwares* estatísticos gratuitos Rstudio e Past. Considerou-se um nível de significância de 95% em todos os testes para se aceitar ou rejeitar as hipóteses.

Nas análises dos parâmetros físico-químicos utilizou-se o teste *t* de *student* para comparar as variáveis independentes de interesse que foram quanto ao tipo de disposição (aterro ou lixão) e quanto ao local da amostra no manancial (montante e jusante). Também foi utilizada a MANOVA utilizando todas as variáveis dependentes.

Utilizando as variáveis de uso de solo fez-se uma correlação de Pearson com as variáveis físico-químicas, pois pretendia-se descobrir se haviam interligações que pudessem mostrar diferenças nas variáveis independentes.

Para comparar o comprimento de raízes do *Allium cepa* entre os cinco mananciais próximos a aterros e os cinco próximos a lixões, fez-se a ANOVA e um teste post-hoc, o teste de Tukey. As comparações se deram também com o controle. Para comparar jusante e montante em cada manancial utilizou-se o teste *t* de *student*.

Para comparação entre comprimento de raízes entre os cinco mananciais próximos a aterros sanitários utilizou-se o teste Anova. Foram escolhidas as amostras a jusante dos cursos, para efeito de comparação, pois há maior probabilidade de sofrerem influência das áreas dos aterros. A variável dependente foi o comprimento de raízes e as variáveis independentes eram os cinco mananciais próximos a aterros. Antes foram feitos os testes de normalidade de Shapiro-wilk e homogeneidade de variância para averiguar o atendimento dos pressupostos da Anova. Posteriormente à Anova, foi feito o teste de Tukey para descobrir as diferenças entre as variáveis. Os mesmos testes foram feitos para comparação do comprimento de raízes entre os mananciais próximos a lixões.

Por fim, utilizando todas as variáveis dependentes (físico-químicas, uso de solo e comprimento de raízes de *Allium cepa*) fez-se uma análise de componentes principais (PCA) utilizando o *software* PAST para saber quais os padrões na variância dos dados. A PCA avalia padrões de distribuição das variáveis a fim de determinar condições diferentes e quais eram mais determinantes na diferenciação entre as amostras. Foram excluídas variáveis com alta correlação entre si, deixando apenas uma delas na análise, pois ambas possuíam o mesmo peso na variabilidade.

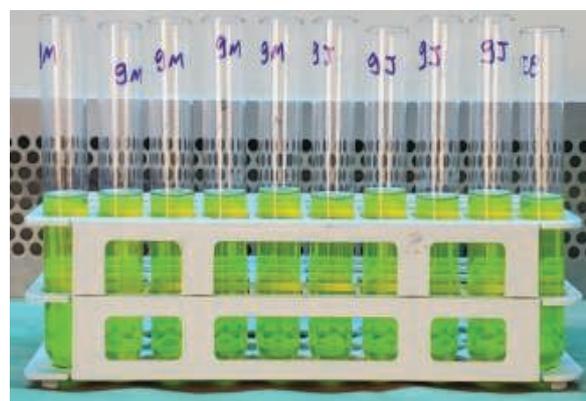
## Resultados e Discussão

- Da análise microbiológica:

Os resultados dos testes microbiológicos utilizando o kit Aquateste Coli® mostraram que todas as 20 amostras de água coletadas nos cursos estavam contaminadas com coliformes totais e *Escherichia coli*. Qualitativamente todos os 100 tubos de amostras se mostraram igualmente contaminados com coloração amarela comprovando a presença de coliformes totais e coloração fluorescente azul esverdeada quando submetidas à luz ultravioleta, indicando a presença de *Escherichia coli*.



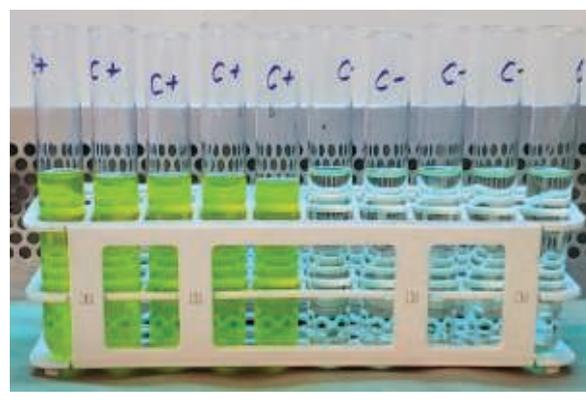
(a) Amostras A9M e A9J contaminadas com coliformes totais.



(b) Amostras A9M e A9J contaminadas com *Escherichia coli*.



(c) Controle Positivo e controle negativo para detecção de *Escherichia coli*.



(d) Controle Positivo e controle negativo para detecção de *Escherichia coli*..

Figura 6: (a) Amostras contaminadas com coliformes totais, (b) amostras contaminadas com *Escherichia coli* submetidas à luz ultravioleta, (c) controles positivo e negativo e (d) controles positivos e negativos sob luz ultravioleta.

Quantitativamente obteve-se, em todas as amostras de todos os cursos d'água, resultados positivos, que, conforme a tabela constante na bula do teste, implicaria em um valor de NMP

(Número mais provável) maior que 8 NMP/100mL portanto quantidade máxima de contaminantes.

Utilizou-se, nas amostras controle, água de torneira, que, por conter cloro, não induz crescimento de coliformes totais e *Escherichia coli* em meio de cultura, como ocorreu nas outras amostras coletadas do estudo. A única forma de proliferação na água de torneira seria através da inoculação da bactéria nas amostras controle. No controle positivo (inoculado com *Escherichia coli*) detectou-se a presença da bactéria, em contrapartida no negativo (sem inoculação) não houve nenhuma detecção, portanto o teste metodológico foi corretamente aplicado.

A *Escherichia coli* é um microrganismo indicador de contaminação fecal utilizado na ciência desde 1892 segundo Franco e Landgraf (2005). Esse organismo é comumente encontrado no trato intestinal de animais de sangue quente como humanos.

Apesar do fato de todos os mananciais do estudo estarem contaminados com coliformes totais e *Escherichia coli* não se pode dizer que foi devido à proximidade das áreas de lixões/aterros, pois até mesmo amostras de água a montante, onde não se espera ter influência dessas áreas, houve contaminação. Acredita-se que tal contaminação possa ser proveniente de atividades pastoris e humanas próximas aos locais de coleta, pois na maioria deles se observou ou a presença de sinais de gado na área de preservação permanente (APP) do curso d'água ou urbanização próxima como no Rio das Antas em Anápolis, Córrego Caveirinha em Goiânia e Córrego Santo Antônio em Aparecida de Goiânia, que atravessam por bairros dessas grandes cidades. Resultados parecidos foram encontrados por Silveira *et al.* (2018) que detectaram contaminação por coliformes fecais em todos os pontos analisados de um rio.

Não se pode dizer também que as áreas de lixões e aterros não tiveram influência nos resultados, pois os resíduos sólidos urbanos são fontes potenciais desses microrganismos. Mouhamad *et al.* (2017) detectaram coliformes totais e *Escherichia coli* em diversos aterros sanitários no Iraque e atentaram para o perigo que essas áreas representam para a contaminação de águas próximas. Mesmo os aterros sanitários licenciados podem ter contribuído para a contaminação, pois frequentemente ocorrem rupturas nas barreiras físicas do fundo do aterro que causam vazamentos inesperados de lixiviados para águas subterrâneas. Geomembranas utilizadas no revestimento do fundo de aterros previnem a contaminação de águas subterrâneas, mas dependendo do peso da pilha de resíduos sobrejacente e do tipo da membrana rupturas podem ocorrer causando riscos à qualidade da água (ZHANG, 2020).

- Das análises físico-químicas:

Segue na tabela 3 abaixo os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras dos 10 mananciais tanto a montante quanto jusante.

Tabela 3: Dados físico-químicos das amostras de água.

Amostra	Condutividade (uS/cm)	pH (91% de sensibilidade)	Turbidez (mpU)	Cor (PtCo)	DQO (mg/L de O <sub>2</sub> )	Tipo
A1J	44.93	6.25	16.6	44	0	Jusante de Aterros
A4J	38.49	6.41	11.1	29	0	
A7J	185	6.23	56.9	87	21	
A8J	227.1	6.35	26.3	47	6	
A9J	104.9	6.45	32.7	52	0	
<b>Média</b>	<b>120.084</b>	<b>6.338</b>	<b>28.72</b>	<b>51.8</b>	<b>5.4</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>83.9684</b>	<b>0.09654</b>	<b>17.84074</b>	<b>21.46392</b>	<b>9.099451</b>	
A1M	45.96	6.8	22.1	56	4	Montante de Aterros
A4M	19.14	6.56	12.2	28	6	
A7M	107.4	6.29	15.3	36	1	
A8M	200.6	6.28	112	132	0	
A9M	23.24	6.74	15.2	39	13	
<b>Média</b>	<b>79.268</b>	<b>6.4675</b>	<b>35.36</b>	<b>58.2</b>	<b>4.8</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>76.44737</b>	<b>0.223215</b>	<b>42.99631</b>	<b>42.49941</b>	<b>5.167204</b>	
A2J	141.1	5.94	9.37	28	10	Jusante de Lixões
A3J	120.5	6.22	28.7	52	4	
A5J	49.23	6.92	21.3	46	0	
A6J	47.12	6.81	9.4	35	3	
A10J	118.6	6.56	36.1	66	4	
<b>Média</b>	<b>95.31</b>	<b>6.49</b>	<b>20.974</b>	<b>45.4</b>	<b>4.2</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>43.92985</b>	<b>0.408534</b>	<b>11.80258</b>	<b>14.82565</b>	<b>3.63318</b>	
A2M	140.4	5.95	24.8	41	2	Montante de Lixões
A3M	125.3	6.13	20.2	53	0	
A5M	59.62	7.19	5.2	31	8	
A6M	46.63	6.7	14.6	39	0	
A10M	113.5	6.53	42.5	79	9	
<b>Média</b>	<b>97.09</b>	<b>6.5</b>	<b>21.46</b>	<b>48.6</b>	<b>3.8</b>	
<b>Desvio Padrão</b>	<b>41.50621</b>	<b>0.488979</b>	<b>13.84623</b>	<b>18.72966</b>	<b>4.38178</b>	

Fonte: autor.

A primeira variável estudada foi a condutividade elétrica. O fato de uma amostra conduzir corrente elétrica é o que se denomina como condutividade elétrica, sendo que valores mais altos contém mais cátions e ânions e podem indicar maior presença de contaminantes. As amostras do Córrego Santo Antônio em Aparecida de Goiânia (A8M e A8J), próximas ao aterro

sanitário, apresentaram os maiores valores de condutividade tanto a montante quanto a jusante, sendo a jusante 13% maior. Não é possível afirmar que a amostra a jusante tenha um valor maior por conta de problemas estruturais do aterro, porém, por se tratar de um manancial que atravessa diversos bairros, as contribuições antrópicas nos resultados elevados são bem plausíveis.

Costa *et al.* (2003) encontraram também altos valores de condutividade em locais próximos a fonte de contaminação, o que mostra a relação direta da variável com o nível contaminado. Amostras a montante do Córrego Retiro em Senador Canedo e Córrego Caveirinha em Goiânia (A4M e A9M) apresentaram os menores valores de condutividade, muito provavelmente porque são locais próximos a nascentes e com pouca ou quase nenhuma influência antrópica de efluentes domésticos. Outra informação é que a condutividade das amostras a montante dos aterros é menor que das amostras a jusante, embora não seja uma diferença significativa após comparação utilizando o teste *t* de student. Nas amostras próximas aos lixões a informação é quase a mesma, onde em alguns pontos a montante o valor foi ligeiramente maior, mas assim como nos aterros, não se obteve diferença significativa entre jusante e montante. Comparando-se também a condutividade entre amostras de aterros e lixões também não houve diferenças significativas. Percebeu-se que o desvio padrão dos diversos locais é alto tanto nas amostras a montante e jusante de aterros quanto a montante e jusante de lixões, o que indica grande variabilidade entre um ponto e outro.

A segunda variável físico-química estudada foi o potencial hidrogeniônico (pH). O pH tem influência direta nos processos químicos e biológicos da água, pois altera estados químicos de poluentes e conseqüentemente a biodisponibilidade de alimentos, afetando fatores importantes dos seres como por exemplo reprodução e crescimento (EPA, 2022). Valores de pH mais ácidos inibem o crescimento de atividade bentônica reduzindo alimentos na cadeia alimentar e as fontes de alteração variam desde atividades naturais como dissolução de rochas, oxidação de matéria orgânica até fontes antrópicas como despejo de esgoto doméstico, lixo e processos industriais (LOPES e MAGALHÃES JR., 2010).

No estudo, percebeu-se pela análise da Tabela 3 acima que a variabilidade foi muito pequena entre as diversas amostras. Nas amostras a montante de aterros o pH foi ligeiramente maior que os correspondentes a jusante. Nas amostras a montante de lixões isso não ocorreu tão distintivamente quanto no caso anterior, onde algumas apresentaram valores maiores e outras menores que a jusante. Em todos os casos não houve diferenças significativas pelo teste *t* e houve pouca variabilidade entre as amostras, fato constatado pelo baixo desvio padrão. Os

maiores valores de pH – pH mais básico – foram nas amostras próximas ao lixão de Itumbiara, os pontos A5J e A5M, que correspondem ao córrego Bálamo. Os menores valores de pH – pH mais ácido – se deram próximo ao Lixão de Anicuns, no córrego do Cavalo. Resultados semelhantes foram encontrados por Nozato *et al.* (2014) que encontrou valores de pH entre 6,5 e 7,3 em diversos córregos que estão dentro dos parâmetros estipulados pela resolução CONAMA nº 357/2005 para classes II e III.

O terceiro parâmetro analisado foi a Turbidez, que é uma variável que indica a presença de matéria orgânica e argilas suspensas na solução da água interferindo na translucidez (ROBERTO *et al.*, 2017). Ainda segundo Roberto *et al.* (2017) a alta turbidez acarreta problemas no ecossistema natural afetando a fotossíntese de plantas aquáticas e algas o que leva, por exemplo, à diminuição na comunidade de peixes. Quanto ao estudo, somente a amostra A5M (Córrego do Bálamo a montante do lixão de Itumbiara) apresentou um nível de Turbidez aceito pela Portaria de consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde (MS) (BRASIL, 2017) que determina o padrão de potabilidade para consumo humano. De fato, é um local a menos de 1 km da nascente, longe de centro urbano, o que poderia explicar a baixa turbidez. Os outros pontos, a exceção do ponto A8M (córrego Santo Antônio em Aparecida de Goiânia a montante), estão dentro da classe II de água conforme Resolução CONAMA nº 357/2005. Este ponto representa um córrego que é visualmente contaminado, pois atravessa diversos bairros da região metropolitana de Aparecida de Goiânia, portanto tal resultado era esperado.

A quarta variável estudada é a Cor, que é um parâmetro relacionado à contaminação e indica proliferação de bactérias ou mesmo reações químicas que comumente não existiriam naturalmente, sendo que essas alterações decorrem de algumas fontes de contaminação como restos de animais, vegetais, sólidos dissolvidos, algas, etc (SAMPAIO *et al.*, 2019). Somente as amostras A7J, A8M e A10M apresentaram valores de cor não permissíveis para as classes I, II e III da resolução Conama 357/05. A amostra A7J seria de se esperar, pois trata-se do Rio das Antas, um rio que sofre intensa contaminação na cidade de Anápolis por atravessar diversos bairros, entretanto a amostra a montante deste rio não apresentou valor alto, o que pode indicar que de fato possa ter ocorrido alguma influência do aterro na amostra a jusante. O ponto A8M também apresentou um valor elevado, sendo o mais alto entre todas as amostras. Da mesma forma, esse ponto está no córrego Santo Antônio que passa por diversos bairros em Aparecida de Goiânia e, portanto, não é um resultado inesperado. O ponto A10M também apresentou um valor elevado, mas não é um resultado esperado, pois fica distante de bairros de Indiara e à montante do lixão. Esperava-se que a amostra pós lixão (A10J) apresentasse um valor mais alto.

Independente de tudo, somente a amostra A8M apresentou um valor bem elevado. Nas amostras A7J e A10 M, apesar de acima do preconizado na resolução Conama 357/05, os valores foram pouco superiores ao limite. Oliveira *et al.* (2016) obtiveram resultados semelhantes ao analisar parâmetros físico-químicos de água nas proximidades de áreas de disposição de RSU, onde o parâmetro Cor não ficou acima dos limites estabelecidos pela Conama 357/05.

A quinta e última variável analisada no estudo foi a DQO, que é um indicador de matéria orgânica em termos de oxigênio consumido e que apresenta como vantagem a rapidez de obtenção dos resultados (VALENTE *et al.*, 1997). Valores altos de DQO indicam contaminação orgânica na água. A resolução Conama 357/05 não usa a DQO e sim a DBO como parâmetro, mas Chapman e Kimstack (1996) citam que valores superiores a 20 mg/L de O<sub>2</sub> seriam suficientes para classificar um manancial como não poluído. Desta forma, somente a amostra A7J (jusante ao aterro) ficou pouco acima deste limite, que é referente ao Rio das Antas em Anápolis, local com bastante contribuição contaminante antrópica como já dito anteriormente. Para fins de comparação, em lixiviados de aterros os valores de DQO são extremamente altos, conforme constatado por Dantas *et al.* (2018) onde se encontrou concentrações superiores a 8000 mg/L de O<sub>2</sub>, mas em mananciais os valores costumam ser bem inferiores como verificou Souza *et al.* (2018) em estudo de um manancial próximo a uma área de disposição de RSU, que apresentou valores baixos de DQO.

Por fim, no que se refere aos parâmetros das amostras d'água como um todo e considerando as determinações da Res. CONAMA nº 357/2005, as águas dos mananciais do estudo foram classificadas como sendo da Classe II ou III e necessitam de tratamento convencional caso sejam utilizadas para consumo humano. Tal afirmação se dá diante dos resultados do teste microbiológico que resultaram em contaminação com coliformes totais e *Escherichia coli* relatados no item anterior.

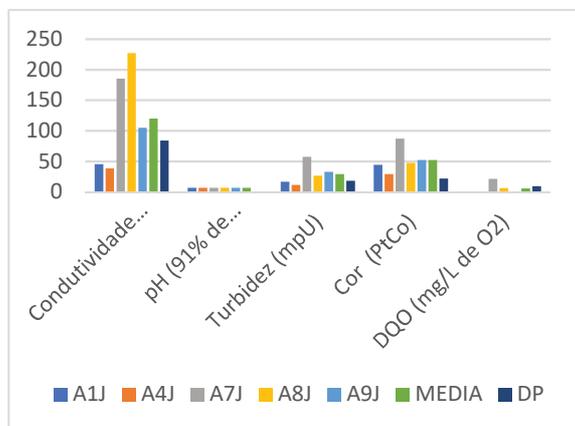


Figura 7: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a jusante em aterros (A1J, A4J, A7J, A8J e A9J).

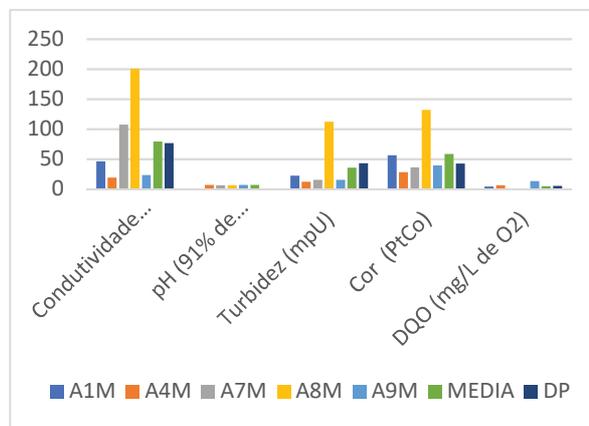


Figura 8: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a montante em aterros (A1M, A4M, A7M, A8M e A9M).

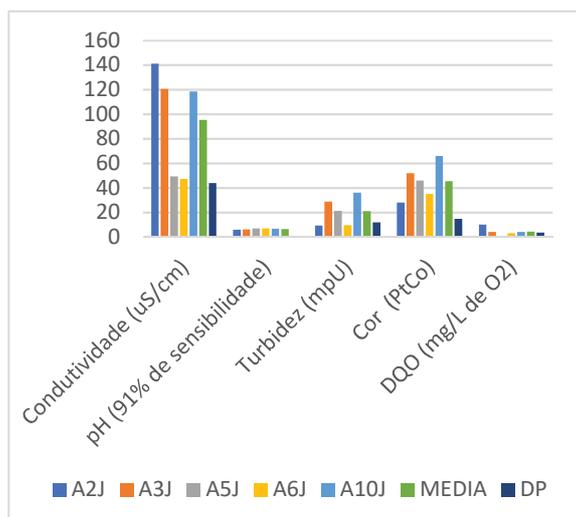


Figura 9: Gráfico das variáveis físico-químicas das amostras a jusante em lixões (A2J, A3J, A5J, A6J e A10J).

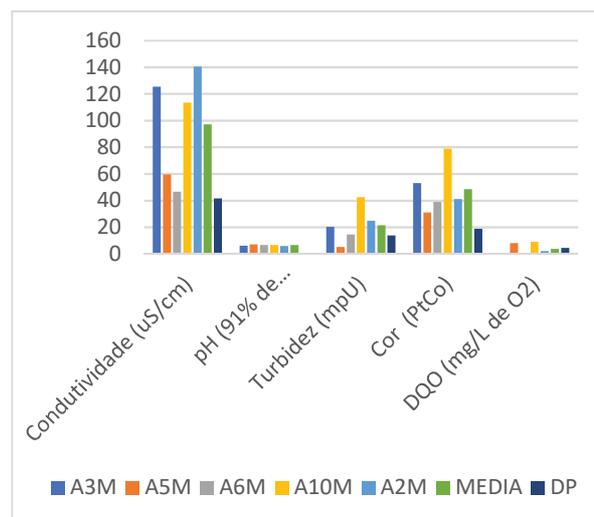


Figura 10: Gráfico de variáveis físico-químicas de amostras a montante em lixões (A3M, A5M, A6M, A10M e A2M).

A turbidez, cor e DQO apresentaram alto desvio padrão, com valores próximos à média ou até mesmo maiores, o que mostra a grande variabilidade entre um ponto de amostragem e outro.

Quanto à estatística dos dados aplicou-se primeiramente o teste *t* de student para cada variável dependente isoladamente. Conforme tabela abaixo, não houve diferenças significativas ( $p < 5\%$ ) entre as amostras de água considerando as seguintes análises: entre aterros e lixões a jusante; aterros e lixões a montante; entre montante e jusante em aterros; e montante e jusante em lixões.

Tabela 4: Valores de *p* utilizando o teste *t*.

	Condutividade Hidráulica	pH	Turbidez	Cor	DQO
AT/LI-JUS <sup>(1)</sup>	0,575	0,44	0,44	0,59	0,79
AT/LI-MON <sup>(2)</sup>	0,659	0,72	0,51	0,65	0,75
AT-MON/JUS <sup>(3)</sup>	0,445	0,54	0,76	0,77	0,9
LI-MON/JUS <sup>(4)</sup>	0,949	0,97	0,95	0,77	0,879

Legenda: (1) análise entre aterros e lixões a jusante; (2) análise entre aterros e lixões a montante; (3) análise entre montante e jusante em aterros; (4) análise entre montante e jusante em lixões. Fonte: autor.

Posteriormente, aplicando-se a Manova com todas as variáveis dependentes juntas e comparando aterros (montante e jusante juntas) e lixões (montante e jusante juntas) restou evidente não haver diferenças significativas ( $p < 5\%$ ) entre os dois tipos de disposição. Da mesma forma, comparando as variáveis entre montante e jusante tanto próximas a aterros quanto a lixões não se encontrou também diferenças entre a localização das amostras.

- Da análise de uso do solo das bacias hidrográficas:

O uso do solo é uma das formas de tentar diferenciar possíveis interferências de áreas disposição de RSU na qualidade das águas, para isso foram extraídos da imagem raster do Mapbiomas de 2019 os dados dos diferentes usos das microbacias hidrográficas dos pontos amostrais conforme exposto na Tabela 4. Posteriormente, fez-se uma correlação de Pearson com as variáveis físico-químicas a jusante, já que não houve diferenças entre montante e jusante nessas variáveis. Fernandes (2011) também aplicou essa correlação em análises semelhantes entre variáveis físico-químicas e uso e ocupação de solo.

Com relação aos usos propriamente dito das microbacias, em quase todos a feição de “Pastagem” foi predominante, com exceção do ponto A7J (jusante ao aterro) no Rio das Antas em Anápolis, do A8J (jusante ao aterro) no Córrego Santo Antônio em Aparecida de Goiânia e A9J (jusante ao aterro) no Ribeirão Caveirinha em Goiânia. Nestes pontos há predominância de infraestruturas urbanas, que tendem a contribuir mais com esgoto doméstico, efluentes pluviais e resíduos industriais. Em contrapartida, o ponto A5J (jusante ao lixão), no córrego Bálamo em Itumbiara representa o local com maior porcentagem de pastagem em sua microbacia com aproximadamente 90% da área, que é uma feição com baixa contribuição de fontes antrópicas.

Antes da correlação, fez-se um agrupamento de classes de uso das bacias visando diminuir as feições e facilitar o estudo juntando classes que apresentam características de uso semelhantes. Juntou-se as classes “Formação florestal” e “Floresta plantada” em uma classe denominada “Florestal”. As classes “Pasto”, “Formação savânica” e “Formação campestre” se juntaram em uma denominada de “Campos”. Para a classe denominada “Lavouras”, aglutinou-se as classes “Cana”, “Lavoura perene”, “Soja” e “Outras lavouras temporárias”. Por fim, juntou-se as classes “Infra-estrutura urbana”, “Outras áreas não vegetadas” e “Rio/lago” em uma classe com nome “Sem vegetação”.

Os valores dos coeficientes de correlação estão expressos nos gráficos abaixo, onde considerou-se como sendo uma correlação muito forte valores positivos e negativos acima de 0,9; correlação forte entre 0,7 e 0,89; correlação moderada entre 0,5 e 0,69; e correlação fraca entre 0,3 e 0,49, conforme Mukaka (2012).

Considera-se que quanto maior os valores das variáveis físico-químicas maior seria a probabilidade d’água ser mais contaminada, sendo que correlações positivas com usos de solos indicariam uma proporção diretamente relacionada com o aumento da contaminação.

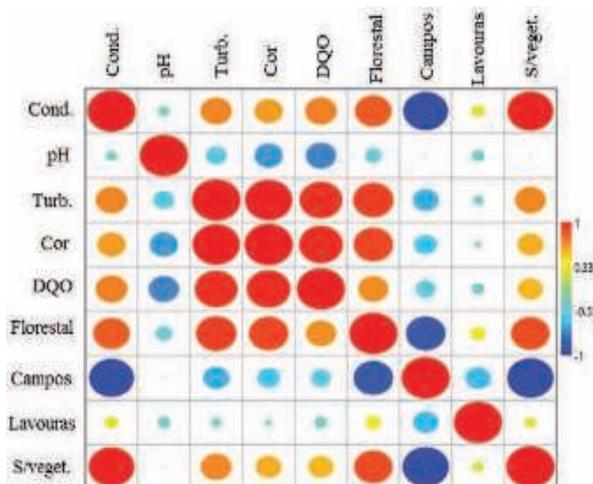


Figura 11: Correlação uso do solo x parâmetros físico-químicos em amostras próximas a Aterros Sanitários.

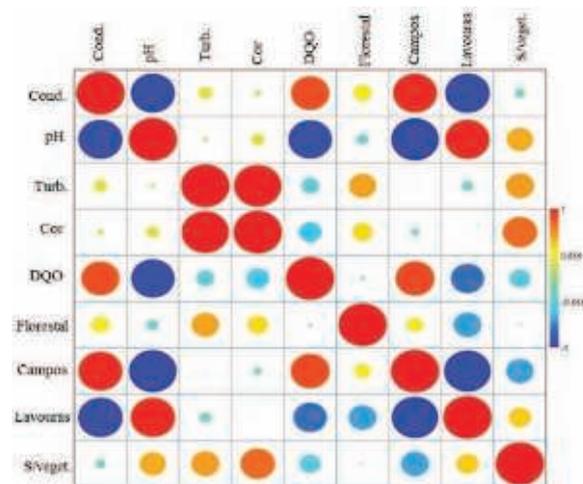


Figura 12: Correlação uso do solo x parâmetros físico-químicos em amostras próximas a Lixões.

Os resultados das correlações de usos de solo das bacias hidrográficas próximas a aterros mostraram: bacias com mais Florestas tiveram correlação forte e positiva com condutividade, turbidez e cor e moderada com DQO; bacias com predominância de áreas de Campos apresentou correlação muito forte e negativa com condutividade e moderada negativa com Turbidez; nas bacias com mais lavouras não houve nenhuma correlação; em bacias mais urbanizadas (pouca ou sem vegetação) houve correlação muito forte e positiva e moderada com turbidez, cor e DQO. Fatos semelhantes foram constatados por Fernandes *et al.* (2011) que observaram que solo exposto, urbano e agricultura têm forte correlação com a turbidez e que áreas de pastagem não possuíam correlação com a essa variável.

Diante disso, observa-se que bacias mais urbanizadas ou mais florestais propiciaram maior chance de contaminação, muito provavelmente porque nas áreas sem vegetação há maior lançamento nos mananciais de efluentes domésticos e pluviais de ruas provenientes de locais urbanos. Porto (2013) encontrou resultado semelhante onde constatou que bacias com maior grau de ocupação apresentaram maiores valores de turbidez, fato relacionado à presença maior de sólidos em suspensão. Esperava-se que bacias mais florestais não contribuíssem tanto para a contaminação conforme mostraram os resultados. Em contrapartida, bacias com predominância de áreas de Campos propiciaram menor probabilidade de contaminação, muito provavelmente porque nessas bacias, por exemplo, ocorra menor escoamento superficial.

Quanto aos resultados das correlações de usos de solo das bacias hidrográficas próximas a lixões foram obtidos padrões um pouco diferenciados dos encontrados próximos a aterros. Os resultados mostraram que bacias com mais áreas florestais apresentaram somente moderada positiva correlação com turbidez. Bacias com mais áreas de Campos apresentaram forte

correlação positiva com condutividade e DQO, ao mesmo tempo que houve forte correlação negativa com pH. As bacias com mais lavouras tiveram forte correlação positiva com pH, moderada positiva com DQO e forte e negativa com condutividade. Já as bacias com menos vegetação (mais urbanas) apresentaram forte correlação positiva com cor e moderada positiva com pH e turbidez.

Os dados de turbidez são condizentes com os encontrados por Ahmad *et al.* (2021) onde mostrou que o aumento dessa variável é sinal de preocupação com as águas residuais das cidades que afetam diretamente a qualidade das águas subterrâneas. Quanto à condutividade, o mesmo autor contradiz os resultados deste estudo onde o aumento não foi devido às atividades de lavouras como é mais comum de se observar nas pesquisas. Ele encontrou altos valores de condutividade relacionados à agricultura. Diante disso, a probabilidade de maior contaminação próximo a lixões também está relacionada a bacias com áreas mais urbanas, embora em menor intensidade do que em aterros. Diferente do que ocorreu próximo a aterros onde os Campos não foram importantes na contaminação, próximos a lixões houve grande importância. Isso leva a crer que, outros fatores podem ter influenciado.

Tabela 5: Área de uso e ocupação do solo (%) das microbacias dos pontos amostrados.

Ponto	FF	FS	FP	FC	Pt	Ca	IU	OANV	RL	LP	Sj	OLT
A1M	10,55	1,70	0,00	1,28	61,04	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	5,06	19,70
A1J	6,85	1,32	0,89	0,40	68,23	0,03	0,00	0,18	0,35	0,00	10,98	10,76
A2M	17,62	1,33	0,00	0,00	80,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
A2J	19,33	0,65	0,00	0,00	78,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01
A3M	20,50	0,16	0,35	0,09	75,77	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	1,89	1,12
A3J	20,62	0,25	0,66	0,07	74,89	0,07	0,00	0,04	0,07	0,00	1,30	2,02
A4M	11,96	4,19	0,00	0,00	83,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4J	5,83	1,23	0,00	0,00	90,39	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00
A5M	22,20	8,85	0,00	0,39	38,54	12,05	0,66	0,80	0,14	0,08	9,81	6,49
A5J	16,67	5,72	6,20	0,64	39,21	8,09	0,29	0,54	0,36	1,00	12,42	8,86
A6M	9,87	1,00	0,25	0,11	53,77	11,57	0,04	0,19	0,55	0,00	16,25	6,43
A6J	10,05	1,03	0,91	0,36	44,26	6,56	0,41	0,44	0,32	0,00	31,00	4,67
A7M	5,54	1,02	0,00	0,48	16,29	0,00	74,41	0,47	0,09	0,00	0,26	1,44
A7J	8,81	3,28	0,90	1,43	32,10	0,00	46,76	1,83	0,20	0,00	2,74	1,95
A8M	7,46	1,54	0,00	0,17	16,87	0,00	73,41	0,23	0,02	0,00	0,00	0,30
A8J	8,91	1,74	0,00	0,01	0,17	22,56	0,00	66,26	0,34	0,00	0,02	0,01
A9M	7,58	0,57	0,00	0,00	57,53	0,00	18,53	0,29	0,80	0,00	0,00	14,71
A9J	9,05	2,12	0,00	0,89	33,97	0,00	42,33	0,62	0,24	0,00	0,00	10,78
A10M	19,84	6,79	0,00	0,00	50,31	0,00	1,34	0,10	0,00	0,00	10,44	11,18
A10J	20,00	6,52	0,00	0,00	51,02	0,00	2,90	0,09	0,00	0,00	9,19	10,29

Legenda: FF (Formação florestal), FS (Formação Savânica), FP (Floresta Plantada), FC (Formação Campestre), Pt (pasto), Ca (cana), IU (Infraestrutura Urbana), OANV (outras áreas não vegetadas), RL (Rios/lagos), LP (Lavoura Permanente), Sj (Soja), OLT (outras lavouras temporárias).

Fonte: autor.

- Teste em *Allium cepa*:

Um dos métodos de detecção de contaminação de fácil execução e que apresenta excelentes resultados é o teste com *Allium cepa*. Esse bioensaio fornece importantes parâmetros para análise da qualidade da água e é largamente utilizado na comunidade científica, pois detecta as influências diretas da contaminação de águas através da citotoxicidade e mutagenicidade de células submetidas a amostras de água (DALZOCHIO *et al.*, 2021). Diferenças no comprimento de raízes de cebola submetidas a diferentes amostras indicam alterações na composição de contaminantes da água de forma que raízes menores indicam local mais contaminado, pois trazem mais limitação de crescimento (SANTOS *et al.*, 2016 e KASSA, 2021). Os resultados macroscópicos de comprimento das raízes de *Allium cepa* constam na Tabela 5 abaixo.

Tabela 6: Comprimento de raízes de *Allium cepa* submetidos às diferentes amostras de água.

Amostra	Réplica	Comprimento das raízes (cm)			Média (cm)	Desvio padrão
Controle negativo	A	6,0	5,0	5,0	5,51	0,40
	B	6,0	5,0	4,5		
	C	6,0	5,5	5,5		
	D	5,5	5,0	5,0		
	E	6,0	5,5	5,0		
	F	7,0	6,5	5,0		
A1 M	A	3,5	3,0	2,0	3,30	0,50
	B	4,0	3,0	3,0		
	C	4,5	4,0	3,0		
A1 J	A	5,0	4,5	4,0	3,90	0,54
	B	4,0	3,5	3,0		
	C	4,5	3,5	3,0		
A2 M	A	4,0	3,5	3,0	3,83	0,58
	B	4,0	3,5	3,0		
	C	5,0	4,5	4,0		
A2 J	A	5,0	3,0	2,5	3,43	0,10
	B	4,5	3,0	2,5		
	C	4,0	3,5	3,0		
A3 M	A	6,0	5,0	4,5	4,56	0,59
	B	5,0	4,5	4,0		
	C	4,5	4,0	3,5		
A3 J	A	5,5	5,0	4,5	4,60	0,54
	B	4,5	4,0	3,5		
	c	5,5	5,0	4,0		
A4 M	a	5,0	4,5	4,0	3,63	0,77
	b	3,5	3,0	3,0		
	c	3,5	3,0	3,0		
A4 J	a	5,0	4,5	4,0	4,16	0,33
	b	4,0	4,5	3,0		
	c	4,5	4,0	4,0		
A5 M	a	6,5	6,0	5,5	5,26	0,75
	b	5,0	4,5	4,0		
	c	5,5	5,0	5,5		
A5 J	a	5,5	5,5	5,5		0,44

	b	5,5	4,5	4,5	5,33	
	c	6,5	5,5	5,0		
A6 M	a	7,0	6,0	5,5		
	b	4,5	4,0	3,5	5,16	1,09
	c	5,5	5,5	5,0		
A6 J	a	6,5	6,0	5,5		
	b	5,5	5,0	5,0	5,30	0,67
	c	5,0	4,5	4,5		
A7 M	a	4,0	3,5	3,0		
	b	5,5	4,5	4,0	3,80	0,79
	c	3,5	3,0	3,0		
A7 J	a	5,0	4,5	4,0		
	b	5,0	4,0	3,0	3,90	0,67
	c	3,0	3,0	3,5		
A8 M	a	4,5	4,0	4,0		
	b	5,0	4,5	4,0	4,46	0,25
	c	5,0	4,5	4,5		
A8 J	a	4,0	3,5	3,0		
	b	4,5	4,0	3,5	3,90	0,35
	c	4,5	4,0	4,0		
A9 M	a	5,0	4,5	4,0		
	b	4,5	3,0	2,0	3,80	0,67
	c	4,0	3,5	3,5		
A9 J	a	4,0	3,5	3,5		
	b	4,5	4,0	4,0	3,80	0,35
	c	4,0	3,5	3,0		
A10 M	a	6,0	6,0	5,5		
	b	5,5	5,0	5,0	5,40	0,38
	c	5,5	5,0	5,0		
A10 J	a	6,0	5,5	5,5		
	b	6,0	6,5	5,5	5,63	0,42
	c	5,5	5,0	5,0		

Fonte: autor.

Comparou-se primeiramente os comprimentos de raízes entre as cinco amostras de água a jusante de mananciais próximos a aterros sanitários. A opção pelas amostras a jusante ocorreu pelo fato haver maior probabilidade de contaminação em comparação a amostras a montante. Utilizando a Anova, constatou-se que não há diferenças ( $p > 5\%$ ) no comprimento das raízes entre todas as amostras a jusante. Entretanto, quando se compara as mesmas cinco amostras, incluindo agora o controle, verificou-se diferenças ( $p < 5\%$ ) nos comprimentos. O teste post-roc de Tukey mostrou que a diferenciação se deu entre o controle e todas as outras amostras (A1J, A4J, A7J, A8J e A9J). Com isso, foi possível deduzir que houve inibição de crescimento decorrente de contaminação da água já que a média das amostras foi inferior à do controle. Essa inibição se deu, provavelmente, ou pela presença do aterro próximo ou pela localização dos pontos amostrais estarem inseridos em parte nos perímetros urbanos das cidades, onde podem ter recebido maiores teores de contaminantes do entorno.

Braga e Lopes (2015) também detectaram inibição de crescimento de raízes de cebola e concluíram que a poluição do rio seria a principal responsável pelo acontecimento. Da mesma forma, Malakahmad *et al.* (2017) detectaram inibição de crescimento em raízes ao longo de um rio na Malásia, de forma que a medida que se afastava da nascente esse comprimento diminuía, resultado de contaminação por metais pesados nas amostras de água.

Procedendo-se, da mesma forma, para as cinco amostras próximas a lixões, o comprimento de raízes entre as amostras a jusante foram diferentes ( $p < 5\%$ ). O teste de Tukey mostrou que a diferença se deu entre a amostra próxima ao lixão de Anicuns (A2J) com as demais amostras (A3J, A5J, A6J e A10J). A média de comprimento de raízes da amostra A2J é estatisticamente menor que as demais incluindo o controle, portanto, neste caso, as raízes sofreram alguma influência negativa de contaminação. Já para as outras amostras, não houve comprimento estatisticamente diferente entre si, incluindo em comparação com a amostra controle, o que mostra não ter ocorrido influência de inibição em raízes nesses locais. Resultado semelhante foi encontrado por Bolis *et al.* (2020) que não percebeu diferenças no comprimento de raízes entre amostras de rios próximos a áreas agrícolas e pecuárias em comparação com o controle. Tal fato se deve, provavelmente, à localização dos pontos amostrais dos mananciais próximos a lixões, que sofrem menos com a antropização do entorno, pois se localizam predominantemente em zona rural. A exceção se deu no ponto A2J, que apresentou comprimento menor de raiz indicando ter ocorrido alguma contaminação próxima desconhecida.

Apesar da evidente inibição do crescimento de raízes para as amostras a jusante de aterros, ficou a dúvida se isso seria decorrente da proximidade deles. Para isso foram feitas análises estatísticas entre montante e jusante em cada curso. O teste *t* de student da variável independente dos dois diferentes grupos (montante e jusante) mostrou não haver significativa diferença, logo, a inibição não está ligada à presença dos aterros próximos.

Nas amostras próximas a lixões não houve diferença no comprimento de raízes em comparação com o controle, exceto no ponto A2J, conforme dito anteriormente. Isso indica não ter ocorrido contaminação nos mananciais à exceção do ponto citado. No entanto, para dirimir se a proximidade do lixão de Anicuns tenha sido a responsável pela diferenciação, aplicou-se o teste *t* entre montante e jusante neste manancial, que mostrou também não haver diferença. Com isso, fica claro que não houve influência do lixão na inibição das raízes e que outra fonte de contaminação seria responsável pela contaminação. Salienta-se também que tanto a amostra a montante quanto a jusante do lixão de Anicuns estão longe do centro urbano da cidade, o que

reforça a tese de que a fonte esteja provavelmente ligada à agropecuária, que é o padrão de uso de solo do entorno.

- Análises de componentes principais (PCA)

Considerando as variáveis de comprimento de raízes de cebola, parâmetros físico-químicos das amostras de água e os diferentes usos de ocupação de solo das bacias hidrográficas dos locais de coleta, a análise de componentes principais (PCA) mostra que 24,14% da variância é explicada pelo componente 1 e 17,88% pelo componente 2.

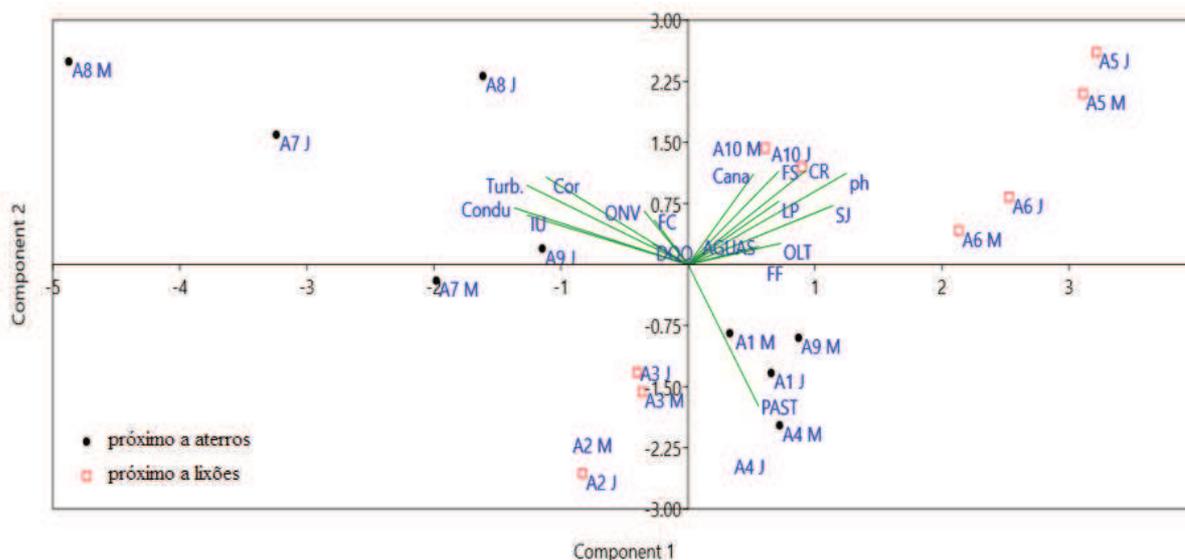


Figura 13: Componentes principais de 17 variáveis nos aterros sanitários e lixões. Legenda: Turb. (turbidez), Condu (Condutividade elétrica), IU (Infraestrutura urbana), ONV (outras áreas não vegetadas), FC (formação campestre), DQO (Demanda química de oxigênio), PAST (pasto), OLT (outras lavouras temporárias), SJ (soja), Águas (área de rios e lagos), LP (Lavoura plantada), CR (comprimento de raízes), FS (formação savânica) e FF (formação florestal).

Analisando-se os loadings, tem-se:

- Pelo gráfico podemos observar que de maneira geral os pontos (montante e jusante) de cada manancial ficaram próximos um do outro à exceção dos pontos A7M e A7J, A8M e A8J e A9M e A9J. Isso demonstra que houve pouca variância dentro dos mananciais e que a maior variabilidade se deu entre os mananciais. De fato, os resultados de comprimento de raízes de cebola e dos parâmetros físico-químicos das amostras, já discutidos, demonstraram não haver diferenças significativas dentro ou entre os mananciais;
- No que se refere aos cursos próximos aos lixões observa-se que 3 dos 5 mananciais (A5M, A5J, A6M, A6J, A10M e A10J) tiveram variâncias próximas entre si. O pH e a soja (SJ)

foram as variáveis que mais contribuíram na variância desses pontos sendo mais fortemente ligadas ao componente 1, que explica melhor a variabilidade dos dados. Tem-se de fato que nesses locais encontramos maiores valores de pH e maior área de soja na bacia. Em contrapartida, as variáveis que menos influenciaram nesses locais foram condutividade elétrica (Condu), turbidez (Turb) e infraestrutura urbana (IU). Isso talvez se explique pelo fato de estarem localizados mais em área rural e longe da área urbana. Considerando-se que quanto menor a condutividade e turbidez da água há menos contaminação, tem-se que seriam os locais com menos contaminação. Os outros dois cursos próximos aos lixões (A2M, A2J, A3M e A3J) também ficaram próximos, porém para esses casos a variação se deu negativamente ao componente 1 e 2, portanto nenhuma variável explicou bem essa variância.

- Quanto aos cursos d'água próximos a aterros os pontos A4M, A4J, A1M, A1J e A9M ficaram bem próximos e se diferenciaram dos demais devido à variável de uso e ocupação com Pasto (Past), porém mais ligado negativamente ao componente 2, que explica menos a variação. Apresentam altas porcentagens de pasto, pouca área urbana, baixa turbidez e condutividade, logo com tendência a menor contaminação da água. Já os pontos A7M e A9J se diferenciaram mais em função das variáveis físico-químicas de condutividade elétrica e turbidez da água e de uso do solo do tipo infraestrutura urbana (IU) com forte relação negativa ao componente 1. São locais mais urbanizados e, provavelmente, foi devido a isso essas variáveis terem sido mais importantes na variância. As que menos influenciaram foram o uso com Soja e o pH da água. Nesses pontos a contaminação tende a ser mais proeminente.
- Ainda com relação a amostras próximas a aterros, a infraestrutura urbana, a condutividade elétrica e a turbidez também foram as variáveis que mais explicaram os pontos A8M, A8J e A7J, porém não houve uma explicação muito clara, pois estão negativamente relacionadas aos componentes 1 e fortemente ao componente 2, que explica pouco a variação. Não há um padrão de diferenciação claro, pois enquanto no ponto A8M haja alta condutividade e turbidez, no ponto A7J apesar disso também ocorrer, a contribuição de área urbana no primeiro é grande enquanto no segundo nem tanto. O ponto A8J tem alta condutividade, baixa turbidez e média Infraestrutura urbana, se diferenciando dos outros dois também.

## Conclusão

Há contaminação microbiológica por coliformes totais e *Escherichia coli* em todos os mananciais do estudo, porém não é possível afirmar que seja devido à proximidade de áreas de lixões e aterros sanitários. Isso porque a contaminação esteve presente inclusive próximas a nascentes e distantes destas áreas, portanto outras fontes importantes estavam presentes, fato evidenciado na detecção, em todos os locais, de sinais potenciais de atividades humanas que podem ter contribuído para isso, como pastagens e/ou áreas urbanas ao redor. Salienta-se também que em nenhuma área de preservação permanente dos cursos havia isolamento que pudesse impedir o acesso de bovinos e humanos aos cursos, o que facilita a contaminação.

Considerando as variáveis físico-químicas de amostras de água não se verificou diferenças significativas tanto nas variáveis isoladamente quando analisadas conjuntamente entre os diversos locais amostrados. Isso indica que os valores das variáveis não sofreram influência de áreas de aterros e lixões, embora em praticamente todos os locais seja possível dizer que há contaminação quando se compara com os parâmetros de água potável, assim determinados pela Portaria de consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde. Em todos os cursos d'água a classificação, segundo a resolução Conama 357/05, foi de classe II e/ou III, que são águas com grande uso potencial para as atividades humanas, porém não potáveis. Mais estudos devem ser feitos para comprovação dessa conclusão.

Sabendo que não há diferenças nos resultados das análises físico-químicas entre as amostras, verificou-se que a contaminação dos cursos próximos a aterros/lixões está relacionada ao tipo de uso do solo das microbacias, sendo que locais mais urbanos contribuíram mais para a contaminação tanto nos cursos próximos a aterros quanto a lixões. A pastagem foi também importante na contaminação próximo a lixões, o que mostra a interferência de alguma outra fonte contaminante desconhecida.

O teste em *Allium cepa* mostrou que mananciais próximos a aterros inseridos dentro de grandes centros urbanos apresentaram comprimentos de raízes estatisticamente inferiores ao controle, o que demonstra inibição causada por contaminação. Não houve, entretanto, diferença entre montante e jusante próximas aos aterros, pois ambas sofreram diminuição do crescimento. Em locais próximos a lixões não houve diferença em comparação com o controle, nem entre as amostras e nem entre jusante e montante, a exceção de um local, onde ocorreu inibição. Entende-se, portanto, que os cursos próximos a aterros e lixões não sofreram influência contaminante dessas áreas.

Pela análise PCA observou-se que a maior variabilidade entre os locais amostrados se deu entre os mananciais, sendo que os dois primeiros componentes principais explicam juntos pouco mais de 42% da variabilidade total, portanto outras variáveis não estudadas devem ser importantes nos padrões de diferenciação.

## Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil 2016. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4389469/mod\\_resource/content/1/panorama2016.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4389469/mod_resource/content/1/panorama2016.pdf)>. Acesso em: Dez. 2021.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021>>. Acesso em: Dez. 2021.

AHMAD, W.; IQBAL, J.; NASIR, M.J.; AHMAD, B.; KHAN, M.T.; KHAN, S.N.; ADNAN, S. Impact of land use/land cover changes on water quality and human health in district Peshawar Pakistan. *Scientific Reports*, v. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96075-3>.

ALBERTE, E.P.V; CARNEIRO, A.P.; KAN, L. Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. *Revista Diálogos & Ciência*, ano III, n. 5, Feira de Santana, 2005.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

ARAÚJO, P. L.; HAMBURGER, D.S.; JESUS, T.A.; BENASSI, R.F.; CICCIO, V. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP. *REGA, Porto Alegre*, v. 15, e2, 2018.

BAILÃO, E.F.L.C.; SANTOS, L.A.C.; ALMEIDA, S.S.; D'ABADIA, P.L.; MORAIS, R.J.; MATOS, T.N.; CARAMORI, S.S.; ARAÚJO, C.S.T.; NETO, C.M.S.; ALMEIDA, L.M. Effect of land-use pattern on the physicochemical and genotoxic properties of water in a low-order stream in Central Brazil. *Rev. Ambient. Água*, v. 15 n. 3, 2020. DOI: 10.4136/ambienta.2486.

BAIRD, R.B.; EATON, A.D & RICE, E.W. (eds.). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA & Water Environment Federation (WEF), 2017. Parte 9000, seção 9230C, p. 9.119-9.122.

BEZERRA, A. K. L., ROCHA, P.H.F., NETO, J.M.M. Solid Waste: Poor Public Management as an Environmental Problem. *Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*. Vol. 17 No. 39 (2020). DOI <https://doi.org/10.18623/rvd.v17i39.1694>.

BOLIS, L.M.; POSTAL, M.; SANTOS, D.C. Avaliação da Citotoxicidade e da Genotoxicidade da Água dos Rios Fiúza e Jacuí-Mirim usando Bioensaio com *Allium Cepa* L. *Meio Ambiente e sociedade*, p.146-160, 2020. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20210319105005id\\_/https://ampllaeditora.com.br/wp-content/uploads/2020/08/eBook-Meio-Ambiente.pdf#page=148](https://web.archive.org/web/20210319105005id_/https://ampllaeditora.com.br/wp-content/uploads/2020/08/eBook-Meio-Ambiente.pdf#page=148)>. Acesso em: 14/04/2022.

BRAGA, J.R.M.; LOPES, D.M. Citotoxicidade e genotoxicidade da água do rio Subaé (Humildes, Bahia, Brasil) usando *Allium cepa* L. como bioindicador. *Revista Ambiente e Água*, v. 10, p. 130-140, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1459>.

BRASIL 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei 9.605/98 e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 05 mai. de 2021.

BRASIL 1997. Lei nº 9.433/1997, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm) >. Acesso em: 15 out. de 2021.

BRASIL 1998. Lei nº 9.605/1998, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm) >. Acesso em: 05 fev. de 2022.

BRASIL 2017. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html) >. Acesso em: 15 fev. de 2022.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: Agência Nacional de Águas, 2011. 326 p.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of Water Quality Variable. W of Biota, Sediments and Water Quality Assessments: A Guide to of the Use of Biota. In: *Sediments and Water in Environment Monitoring*, 2nd Edition, Chapman Edition, E& FN Spon, London, 59-126, 1996.

COIMBRA, Thainá Santos; BARBOSA, Debora Rodrigues. Gestão Ambiental dos Resíduos Sólidos em Nova Iguaçu (RJ). In: *SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA* ; SEGET, 2012, Resende - Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: AEDB, 2012.

COSTA, M.F. Proposta de Metodologia para Avaliação da Qualidade das Águas na Área de Influência de Minas a Céu Aberto: Caso da Mina N5sul em Carajás-Pa. Dissertação de mestrado. Lume-UFRGS. 2014.

COSTA, A.T.; NALINI JR, H. A.; LENA, J.C.; FRIESE, K.; MAGES, M. Surface water quality and sediment geochemistry in the Gualaxo do Norte basin, eastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, vol. 45, p. 226-235, 2003. DOI: 10.1007/s00254-003-0870-6.

DANTAS, E.R.B.; OLIVEIRA, E.G.; LOPES, W.S.; LOPES, W.S. Remoção de Carga Orgânica e Cor Verdadeira de Lixiviado de Aterro Sanitário Utilizando Processo Oxidativo Avançado (POA). Conapesc, 2018.

DALZOCHIO, T.; ZWETSCH, B.G.; SIMÕES, L.A.R.; SOUZA, M.S.; GEHLEN, G.; SILVA, L.B. Combination of Water Quality Parameters and Bioassays for the Assessment of Two Rivers, Southern Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 108, p. 678–684, 2022.

EIGENHEER, E. M. Lixo – A limpeza urbana através dos tempos. UERJ, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[https:// http://www.lixoeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf](https://http://www.lixoeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf)>. Acesso em 05/02/2022.

EPA – United States Environment Protection Agency. Disponível em: <[http:// https://www.epa.gov/caddis-vol2/ph](http://https://www.epa.gov/caddis-vol2/ph)>. Acesso em: 20 abril de 2022.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos alimentos. São Paulo, SP: Atheneu, 2005. 182 p.

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; RAMOS, G. M.; GASPAR, A.; MOURA, M.R. Influência do Uso do Solo na Qualidade de Água da Microbacia Glória, Macaé – RJ. *Engenharia Ambiental*, v. 8, n. 2, p. 105-116, 2011.

GONÇALVES, D.R.P.; ROCHA, C.H. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1172-1183, set. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900017.

GONÇALVES, V. P.; RIBEIRO, E. A. W. Obtenção de série histórica da evolução da classe Floresta Plantada a partir dos dados de uso e cobertura do solo da Coleção 5 do projeto MapBiomass. *Revista Metodologias e Aprendizagem*, vol. 4, p. 99-105, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21166/metapre.v4i.1491>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Acesso em julho de 2020. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>.

INMET 2021. Dados climatológicos. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em 05/08/2021.

JUCÁ, J.F.T.; LIMA, J.D.; LIMA, D.A.; MARIANO M.O.; LUCENA L.; FIRMO, A. (2014) Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão Jaboatão dos Guararapes (PE): UFPE - BNDES, CCS Gráfica Editora Ltda.

JUNIOR, C.F.A.; SILVA, L.P.; SANTOS, M.A.B; RIBEIRO, R.P. Physical-chemical analysis of rural Murucupi water located in Barcarena-PA. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 21292-21301, out. 2019.

KASSA, B.A. Cytotoxicity and Genotoxicity evaluation of municipal wastewater discharged into the head of Blue Nile River using the *Allium Cepa* test. Scientific African, v.13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00911>.

LABORCLIN - produtos para laboratórios Ltda. Aquatestes Coli. Disponível em: <https://www.laborclin.com.br/wp-content/uploads/2019/06/510119-AQUATESTES-COLI-ONPG.MUG-CALDO-CX200UN.pdf>

LANZA, V. C. V. Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. 28 p.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR, A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol .6, p. 134-147, 2010. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13301>.

MAIELLO, A., BRITTO, A.L.N.P., VALLE, T.F. Implementation of the Brazilian National Policy for Waste Management. Revista de Administracao Publica. Vol. 52. Pag. 24-51. Fev. 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-7612155117>.

MALAKAHMAD, A.; MANAN, T.S.B.A.; SIVAPALAN, S.; KHAN, T. Genotoxicity assessment of raw and treated water samples using *Allium cepa* assay: evidence from Perak River, Malaysia. Environment Science and Pollution, v. 25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0721-8>

MMA – Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450)> Acesso em: 20 abril de 2022.

MAPBIOMAS. 2019. Disponível em: < <http://mapbiomas.org/>>. Acesso em 14/02/2021.

MARQUES, R.F.D.V., DA SILVA, A.M., RODRIGUES, L.D., COELHO, G. Impacts of urban solid waste disposal on the quality of surface water in three cities of Minas Gerais – Brazil. Ciência e agrotecnologia. Vol. 36. Pag. 684-692. Dec 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000600010>

MATTOS, G.N.; LIMA, L.G.; VIEIRA, V.F.; DUARTE, S. F. P. Avaliação de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em Diferentes Lotes de Água Mineral Comercializadas em um Município do Sudoeste Baiano. Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia, 2017, vol.11, n.38, p.566-572. ISSN: 1981-1179

MEDEIROS, G.A.; REIS, F.A.G.V.; SIMONETTI, F.D.; BATISTA, G.; MONTEIRO, T.; CAMARGO, V.; SANTOS, L.F.S.; RIBEIRO, L.F.M.. Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no estado de São Paulo. Engenharia Ambiental, v. 5, n. 2, p. 169-186, Espírito do Santo do Pinhal, 2008.

MORITA, A.K.M., PELINSON, N.D., ELIS, V.R., WENDLAND, E. Long-term geophysical monitoring of an abandoned dumpsite area in a Guarani Aquifer recharge zone. Journal of Contaminant Hydrology. Vol. 230. March/2020. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2020.103623.

MOUHAMAD, R. S.; HUSSEIN, A. A.; ALSAEDI, S. A.; NASIF, N. S.; JODA, S. O. Detect of human fecal contamination in water and soil of multiple sanitary landfills in Baghdad city. *Microbiology Research International*, vol. 5, p. 43-50, 2017.

MUÑOZ, S. I. S. Impacto Ambiental na Área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto ; SP: Avaliação dos Níveis de Metais Pesados. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública). Programa de Pós-Graduação de Enfermagem em Saúde Pública, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, vol. 24, p. 69-71, 2012.

NOZATO, C. T.; MARCONDES, M. A.; LOPES, F. A.; SANTOS, K. F.; LARIZZATTI, P. S. C. *Atas de Saúde Ambiental*, vol. 2, p. 29-44, 2014.

NUNES, J. O. R. Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada à escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente/SP. 211 f. Tese (Doutorado em Geografia) -Faculdade de Ciência e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, 2002.

OLIVEIRA, B.O.S; TUCCI, C.A.F.; JUNIOR, A.F.N.; SANTOS, A.A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.21, n.3, p. 593-601, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016133274.

PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás, 2017. Disponível em: < [https://www.meioambiente.go.gov.br/arquivos/pers\\_versao\\_final\\_forum\\_de\\_residuos\\_solidos.pdf](https://www.meioambiente.go.gov.br/arquivos/pers_versao_final_forum_de_residuos_solidos.pdf)>. Acesso em 05/08/2021.

PORTO, A.A. Uso do Solo e Contaminação por Esgoto do Córrego Capão da Sombra, Guarulhos, SP. Dissertação de mestrado, Prog. de Mestrado em Análise Geoambiental, Univ. Guarulhos. 2013. Disponível em:< <http://tede.ung.br/handle/123456789/430>>. Acesso em 18/04/2022.

ROBERTO, M.C; GUIMARÃES, A.P.M; RIBEIRO, J.L.; CARVALHO, A.V.; NERES, J.C.I.; CERQUEIRA, F.B. Evaluation of ph, turbidity and microbiological analysis of the water of the Guará Velho stream in Guaraí, Estado do Tocantins. *Revista Desafios – vol. 04, n. 04, 2017*. DOI: <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2017v4n4p3>.

QGIS.org 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em: <<http://www.qgis.org>>. Acesso em 05/01/2021.

SAMPAIO, C.A.P.; IDE, G.M.; BATALHA, C.P.; PEREIRA, L.C.; BUENO, L.F. Análise técnica de água de fontes rurais. *Engenharia Sanitária Ambiental*, vol. 24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019116954>.

SANTOS, A. A. Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT. Cuiabá-MT. 2008.

SANTOS, C.S.; PEREIRA, I.F.M.; MOTTA, L.S.; SILVA, P.T.S.; VIDAL, A.C.B.; SILVA, D.C.; BORTLLETI, K.C.A. Bioensaio com o Sistema-Teste *Allium Cepa* L. sugere Toxicidade em Amostras de Água Coletadas no Rio São Francisco (Petrolina/PE). I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Disponível em: <<https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/Bioensaio-com-o-sistema-teste-Allium-cepa-L-sugere-toxicidade-em-amostras-de-%C3%A1gua-coletadas-no-rio-S%C3%A3o-Francisco.pdf>>. Acesso em 05/04/2022.

SCHUELER, A. S., MAHLER, C. F. Evaluation System for Rating Urban Solid Waste Disposal Sites for Remediation and Post Occupation. Eng. Sanit. Ambient. Vol.13 - Nº 3, p. 249-254. Jul/set 2007.

SETH, C. S.; MISRA, V.; CHAUHAN, L. K.; SINGH, R. R. Genotoxicity of cádmium on root meristem cells of *Allium cepa*: cytogenetic and Comet assay approach. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 71, n. 3, p. 711-716, 2008. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.003.

SHI, P., ZHANG, Y., LI, Z.B., LI, P., XU, G.C. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. Catena. Vol. 151. Pag. 182-190. April/2017. DOI:10.1016/j.catena.2016.12.017.

SILVA. M.S.; CARVALHO, T.S.; SANTOS, R.B.; MAFFEI, E.M.D.; SOARES, B.D.F. Potencial Genotóxico em Amostras de Água do Rio Pardo (Itapetinga / Ba) pelo Teste *Allium cepa*. VII Seagrus. Anais. Uesb. Vitória da Conquista-BA. 2017.

SILVA, R.S.B., SOUSA, A.M.L; SODRE, S.S.V., VITORINO, I.M.; Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis. Revista Engenharia Sanitária Ambiental 23:1-17.2018

SILVA, K.A.; FERREIRA, O.M. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos no Estado de Goiás. Revista Estudos, v.38, p.227-233, Goiânia, 2011.

SILVA, C.V.T.; RIBEIRO FILHO, J.C.; SILVA, P.C.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; BRASIL, J.B. Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. Revista Engenharia na Agricultura, V.25, n.05, p.436-444, 2017.

SILVEIRA, A.; CASTRO, F. B. G., GODEFROID, R. S.; SILVA, R. C.; SANTOS, V. L. P. Análise microbiológica da água do Rio Bacacheri, em Curitiba (PR). Eng Sanit Ambient | v.23 n.5 | set/out 2018.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Painel de Resíduos Sólidos Urbanos, 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>>. Acesso em 05/02/2022.

SOUZA, M.K.G; GOMES, E.F.; MARIA, Y.R.; BALARIM, N.G.; FELICI, E.M. Diagnóstico Ambiental do Afluente da Bacia Hidrográfica do Córrego Amargoso, Cidade de Taciba/SP. Colloquium Exactarum, v. 10, n.3, p.38-50, 2018. DOI: 10.5747/ce.2018.v10.n3.e244.

USGS. Imagens SRTM. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 05/02/2021.

VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. *Eclética Química*, vol. 22, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>.

YANG, L., CHEN, Z.L., LIU, T., GONG, Z., YU, Y.J., WANG, J. Global trends of solid waste research from 1997 to 2011 by using bibliometric analysis. *Scientometrics*. Vol. 96. Pág. 133-146. JUL 2013. DOI: 10.1007/s11192-012-0911-6.

ZHANG, H. Study on the Internal Force of Geomembrane of Landfill in Heavy Metal Contaminated Area. *Earth Sciences Research Journal*, vol.24, p. 111-118, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/esrj.v24n1.85231>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

✓ A baixa quantidade de artigos relacionados à contaminação de águas por áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU), sejam lixões ou aterros sanitários pode refletir a baixa preocupação dada tanto pelo poder público quanto por pesquisadores das instituições de ensino. Novos estudos utilizando outras bases de dados devem ser feitos para essa comprovação. Independente disso, os RSU se tornaram um problema cada vez mais preocupante para o meio ambiente, tanto que desde a criação da Lei de resíduos sólidos urbanos (Lei 12.305/2010), que previa a transformação de áreas inadequadas (lixões) para aterros sanitários em até quatro anos, não houve uma consolidação dos aterros sanitário no país, tendo seu prazo estendido por diversas vezes. Ainda hoje há a predominância de lixões no Brasil, segundo dados do SNIS (2020), que mostram que, em torno de 73,8% dos municípios fazem a destinação em áreas de lixões.

✓ É preocupante saber que há um indicativo de baixa produção científica sobre contaminação de água por lixões/aterros. Se outros estudos comprovarem essa situação em outras plataformas de pesquisa, o pouco conhecimento gerado sobre as consequências de uma disposição inadequada dos resíduos urbanos não irá permitir a evolução na forma que o ser humano lida com a contaminação da água.

✓ Quanto ao estudo experimental dessa dissertação, ficou evidente a necessidade de se buscar outras variáveis que possam explicar melhor os mecanismos de contaminação das áreas de lixões e aterros, já que as variáveis utilizadas não foram preponderantes para mostrar a força potencial contaminante desses locais. Apesar de: todas as amostras estarem contaminadas por coliformes totais e *Escherichia coli*; de altos teores de condutividade elétrica e turbidez em muitos pontos; e da inibição de crescimento em raízes de cebola em vários locais; não se evidenciou a influência das áreas de disposição em lixões e aterros. Acredita-se que parte da contaminação seja sim responsabilidade dessas áreas de disposição, porém novos estudos devem ser feitos para elucidar como esses mecanismos de contaminação funcionam. Estudos de contaminação de águas subterrâneas próximo a lixões e aterros sanitários com a inclusão de mais variáveis físico-químicas, de metais pesados ou de moléculas químicas perigosas formadas no processo de decomposição dos resíduos talvez possam exemplificar melhor o perigo que essas áreas representam para o meio ambiente.

✓ Algo que restou comprovado no estudo é a influência da contaminação de mananciais por uso e ocupação do solo de áreas urbanas. Efluentes oriundos das atividades humanas e industriais possuem alto poder contaminante nos cursos hídricos adjacentes, portanto são

necessárias medidas urgentes de contenção desses efluentes assim como recuperação e preservação das áreas de preservação permanente, pois a qualidade da água tem sido bastante prejudicada em locais mais urbanizados. Mesmo em locais sem urbanização e com água aparentemente potável (próximas a nascentes) se encontrou sinais graves de contaminação com *Escherichia coli*, o que demonstra uma necessidade de acompanhamento mais presente dos cursos d'água a nossa volta.

**APÊNDICES, ANEXO OU MATERIAL SUPLEMENTAR**

Tabela: População, artigos publicados, citação de artigos, produção de artigos da pesquisa e produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) de diversos países, referente ao capítulo 1.

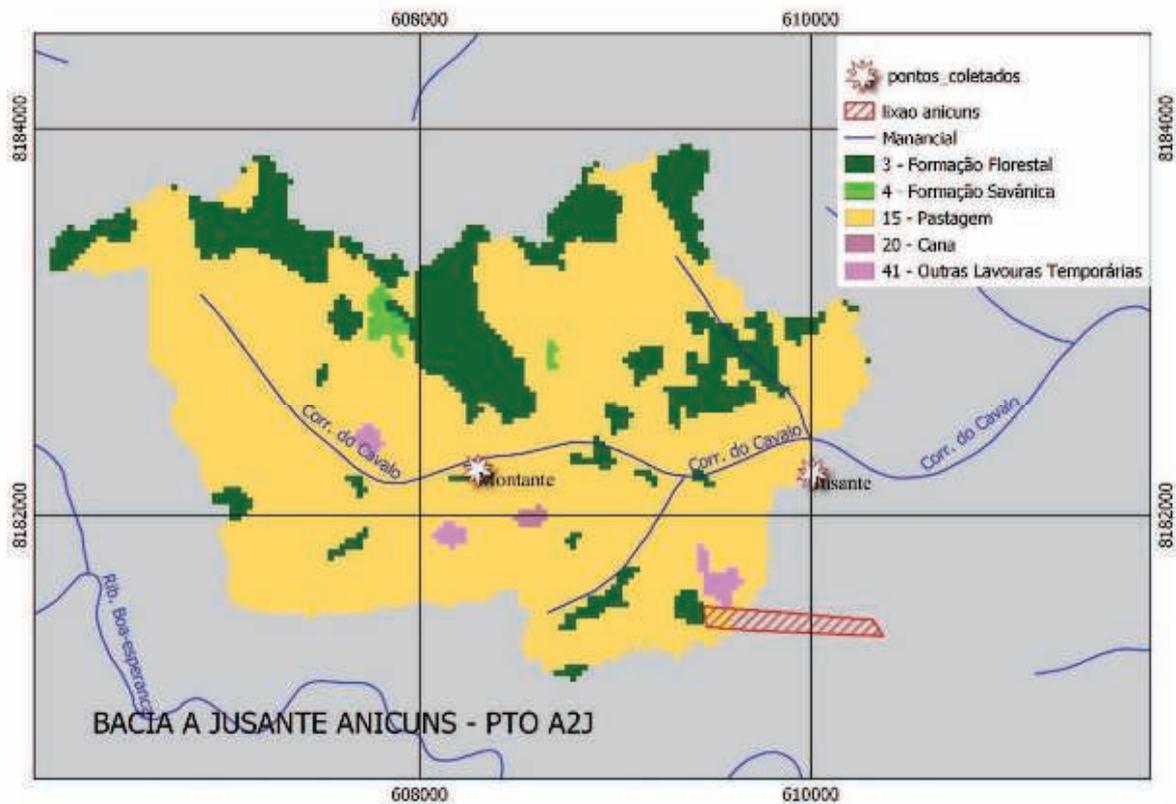
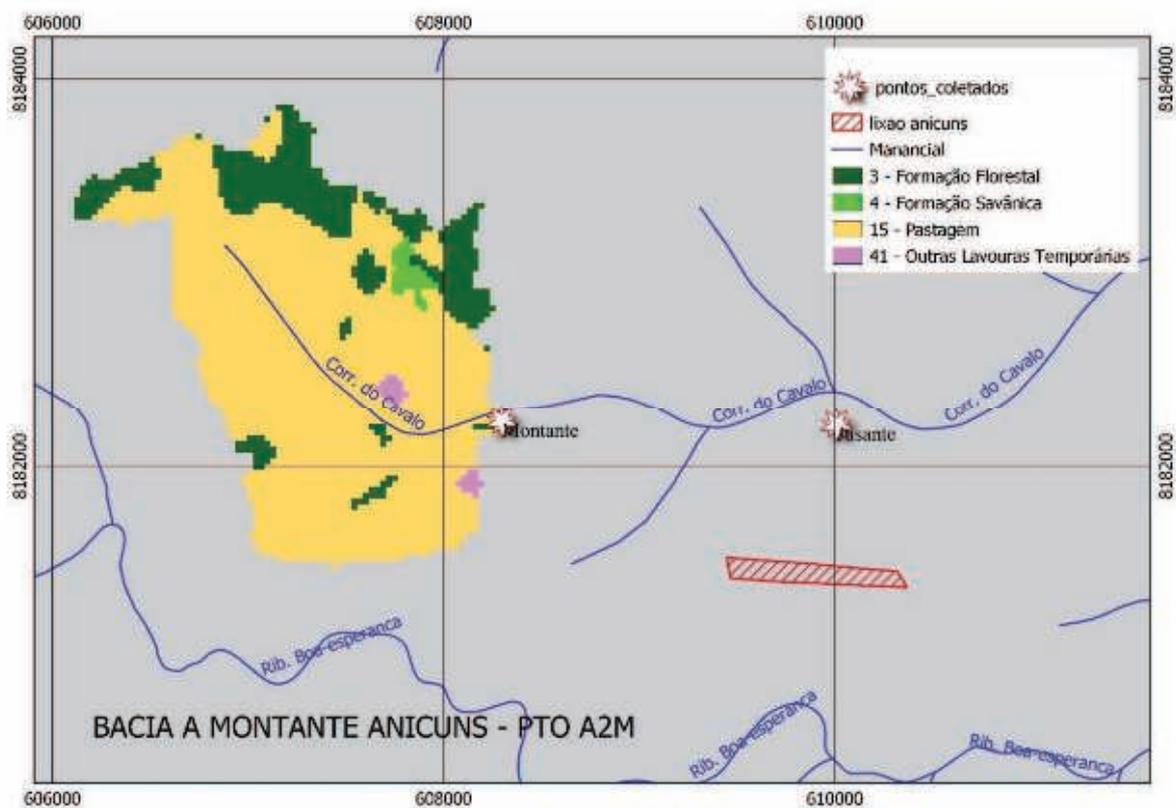
País	Nº Artigos da Pesquisa	Produção de RSU (t)	População (habitantes)	Artigos Publicados (1996-2020)	Citação de artigos (1996-2020)	Date data*
Algeria	3	12378740	40606052	84192	80961	2016
Argentina	4	17910550	42981515	247088	226696	2014
Austrália	9	13345000	23789338	1638743	1423945	2015
Áustria	1	4836000	8633169	1638743	409530	2015
Bangladesh	1	14778497	155727053	67226	62394	2012
Belgium	2	4708000	11274196	620157	556015	2015
Bosnia & Herceg	1	1248718	3535961	15911	14633	2015
Brazil	49	79889010	205962108	1145853	1067185	2015
Camboja	1	1089000	15270790	5217	4631	2014
Cameroon	1	3270617	21655715	20784	19201	2013
Canadá	12	25103034	35544564	2037509	1796688	2014
Chile	1	7530879	17910000	191151	172541	2009
China	31	220402706	1403500000	7454602	7229532	2015
Cote Ivoire	1	4440814	20401331	7843	7356	2010
Croatia	7	1654000	4203604	124274	116129	2015
Cuba	2	2692692	11303687	44815	42024	2007
Czech Republic	6	3337000	10546059	390274	366744	2015
Denmark	14	4485000	5683483	469318	416952	2015
Ecuador	2	5297211	16144368	30775	28483	2015
Egypt	2	21000000	87813257	264543	252794	2012
England	5	31567000	65128861	4039729	3347117	2015
Ethiopia	3	6532787	99873033	34552	32197	2015
Finland	1	2738000	5479531	392312	356132	2015
France	8	33399000	66624068	2437589	2203243	2015
Gana	2	3538275	21542009	28547	26080	2005
Germany	8	51046000	81686611	3515309	3151775	2015
Greece	4	5477424	10892413	367084	327311	2014
India	44	168403240	1071477855	2128896	1946730	2001
Indonesia	4	65200000	261115456	212806	206360	2016
Iran	8	17885000	80277428	662189	632705	2017
Iraq	1	13140000	36115649	62194	60374	2015
Italy	13	29524000	60730582	2072168	1840490	2015
Jamaica	1	1051695	2881355	7731	6554	2016
Japan	6	43981000	127141000	3074206	2895478	2015
Jordan	2	2529997	8413464	53200	50930	2013
Kosovo	1	319000	1801800	0	0	2015
Kuwait	1	1750000	2998083	30144	28244	2010
Laos	1	351900	6663967	3418	3103	2015
Lebanon	1	2040000	5603279	41437	37290	2014
Lithuania	5	1300000	2904910	62082	58983	2015
Madagascar	1	3768759	24894551	5403	4975	2016
Malaysia	9	12982685	30228017	368061	351217	2014
Mexico	8	53100000	125890949	387111	356455	2015
Morocco	3	6852000	34318082	83349	77388	2014
Netherlands	3	8855000	16939923	1131975	998112	2015
New Zealand	2	3405000	4692700	283173	247539	2016
Nigeria	38	27614830	154402181	118048	110600	2009
North Macedonia	2	796585	2081206	14181	13183	2016

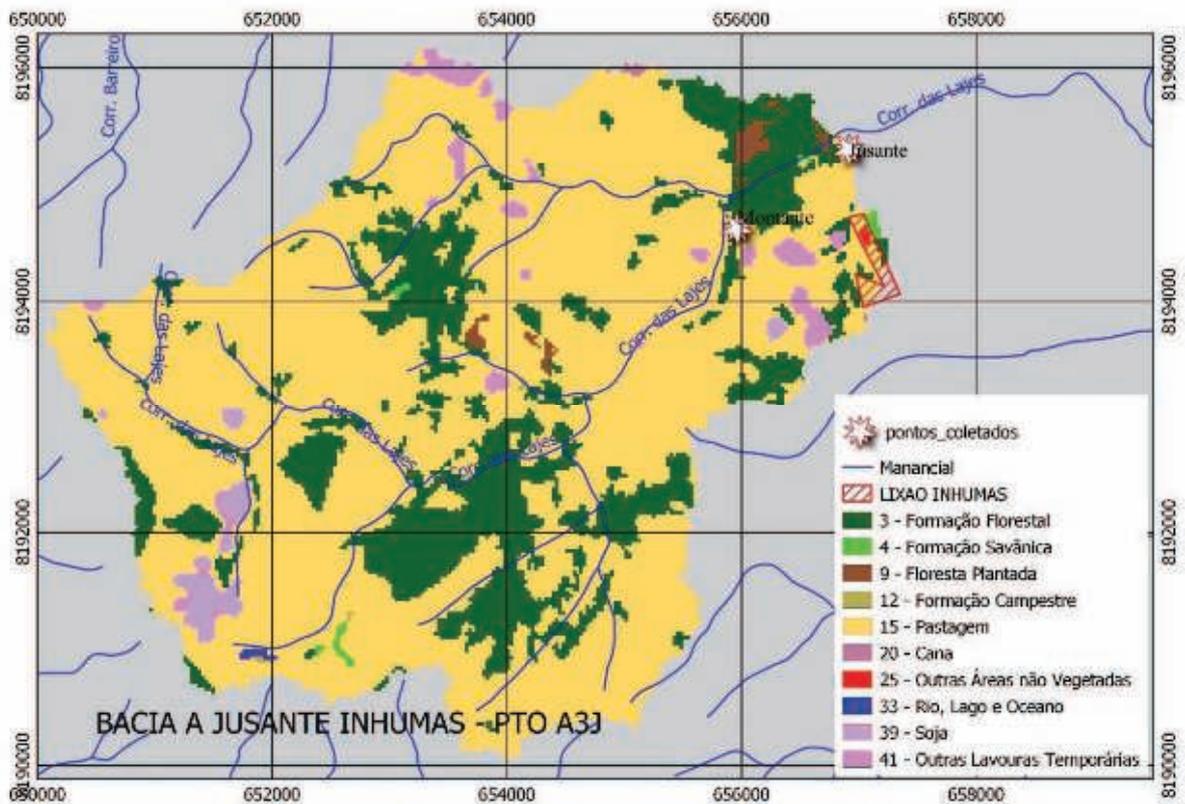
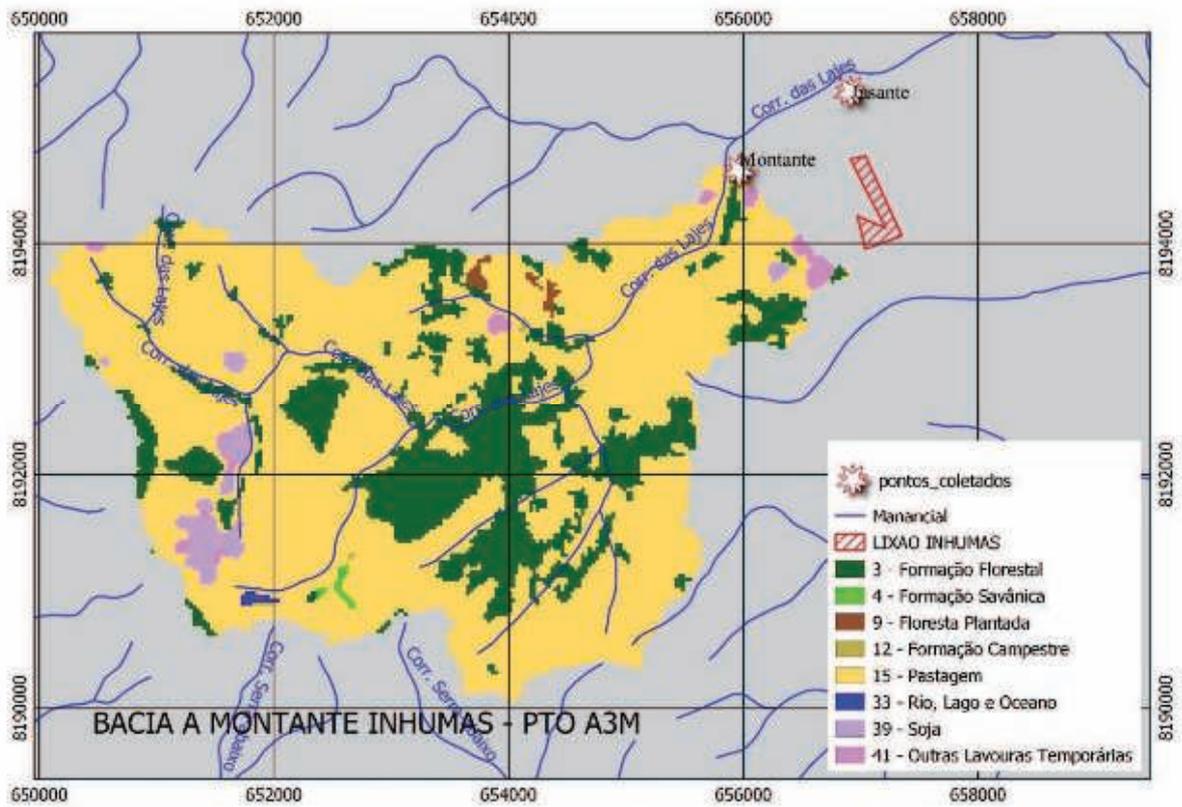
Norway	6	2187000	5188607	374374	330579	2015
Pakistan	4	30760000	193203476	209486	197242	2017
Philippines	1	14631923	103320222	45309	41055	2016
Poland	34	10863000	37986412	782013	733398	2015
Portugal	3	4710000	10401062	373566	336866	2014
Romania	7	4895000	19815481	239112	226140	2015
Russia	4	60000000	143201676	1359443	1302809	2012
Rwanda	1	4384969	11917508	4574	4012	2016
Saudi Arabia	4	16125701	31557144	252832	238288	2015
Serbia	3	1840000	7095383	112192	104260	2015
Singapore	1	7704300	5607283	352240	315906	2017
Slovak	1	1784000	5423801	132634	126170	2015
Slovenia	1	926000	2063531	111722	103501	2015
South Africa	11	18457232	51729345	342060	305649	2011
South Korea	6	18218975	50746659	1307978	1249982	2014
Spain	3	20151000	46447697	1628362	1468464	2015
Sweden	4	4377000	9799186	768416	691248	2015
Switzerland	3	6056000	8372098	845108	745124	2016
Taiwan	1	7336000	23434000	748274	712734	2015
Thailand	3	26853366	68657600	223696	210356	2015
Tunisia	1	2700000	11143908	104541	98601	2014
Turkey	8	31283000	78271472	703732	650228	2015
Uganda	2	7045050	35093648	22379	20064	2011
Ukraine	2	15242025	45004645	232307	222616	2016
USA	23	258000000	318563456	13817725	11986435	2014
Vietnam	3	9570300	86932500	84359	78564	2010
Yemen	1	4836820	27584213	6256	5950	2016
Zambia	1	2608268	14264756	7831	6926	2011
Zimbabwe	1	1449752	12500525	13063	11652	2002

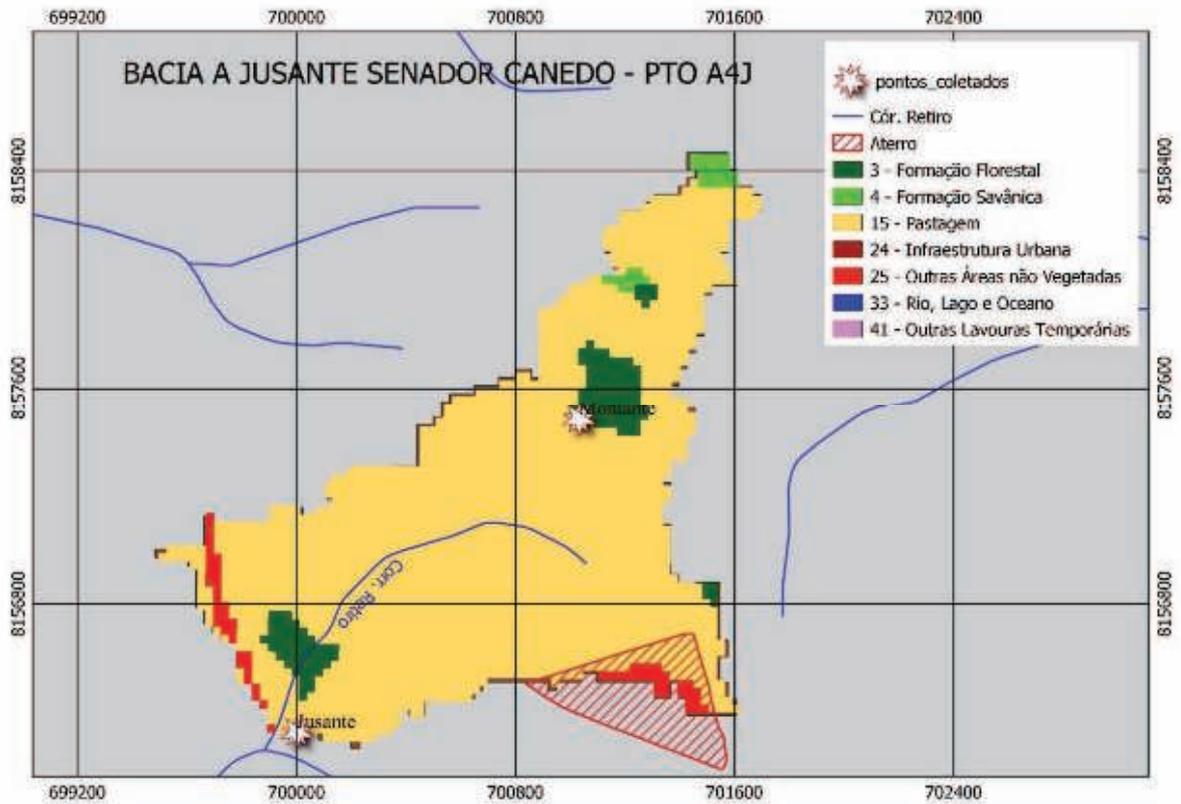
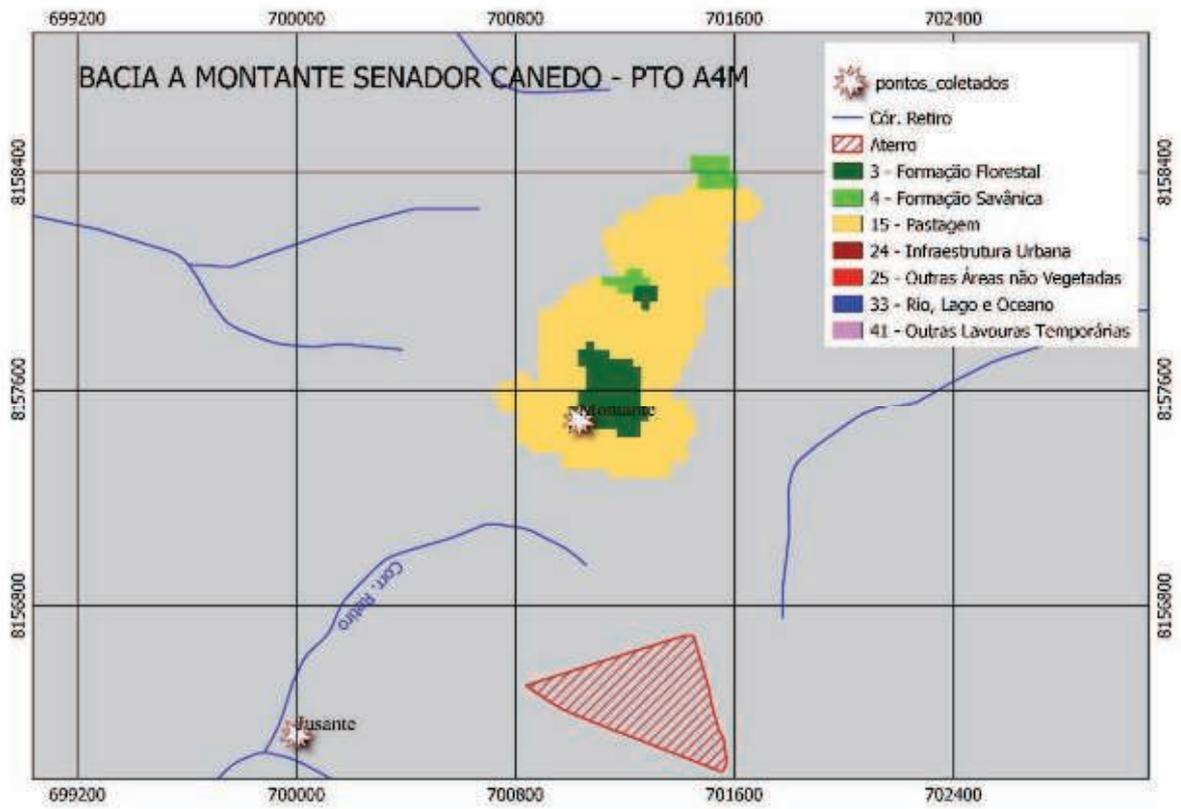
Legenda: MSW: Resíduos sólidos urbanos. \*data das informações de população e resíduos sólidos.

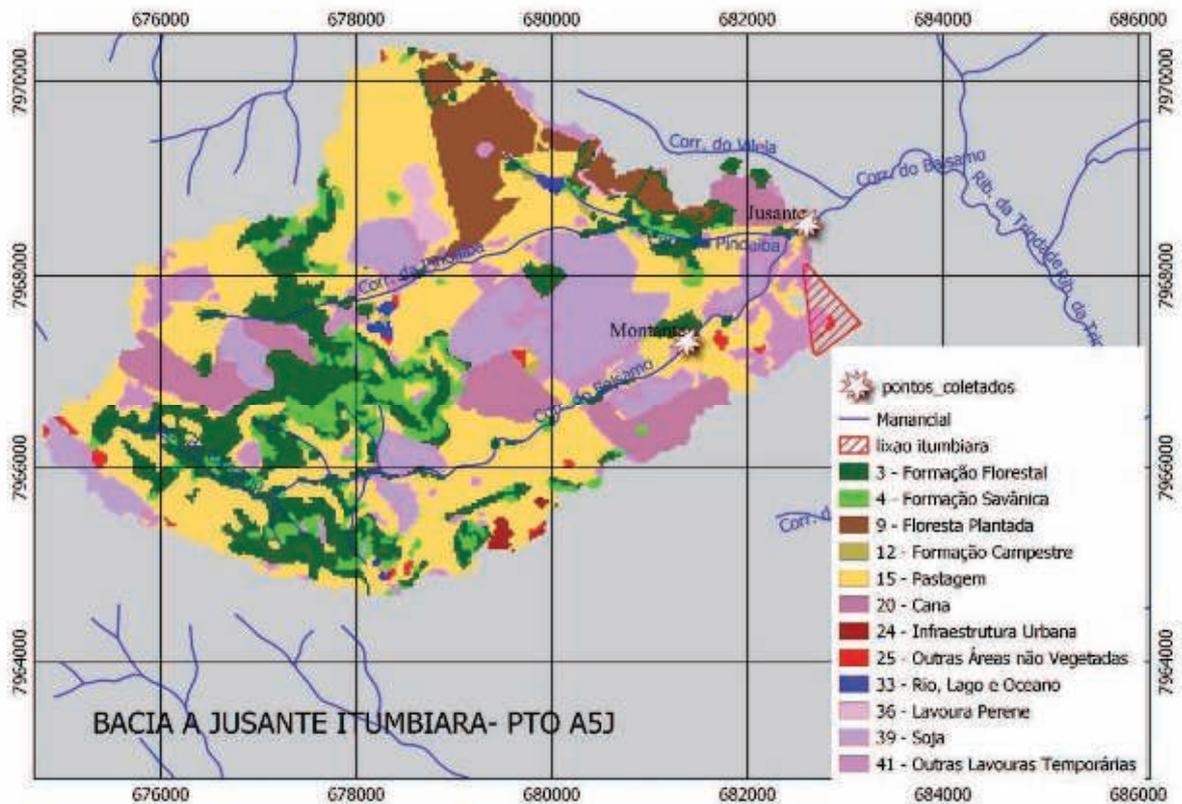
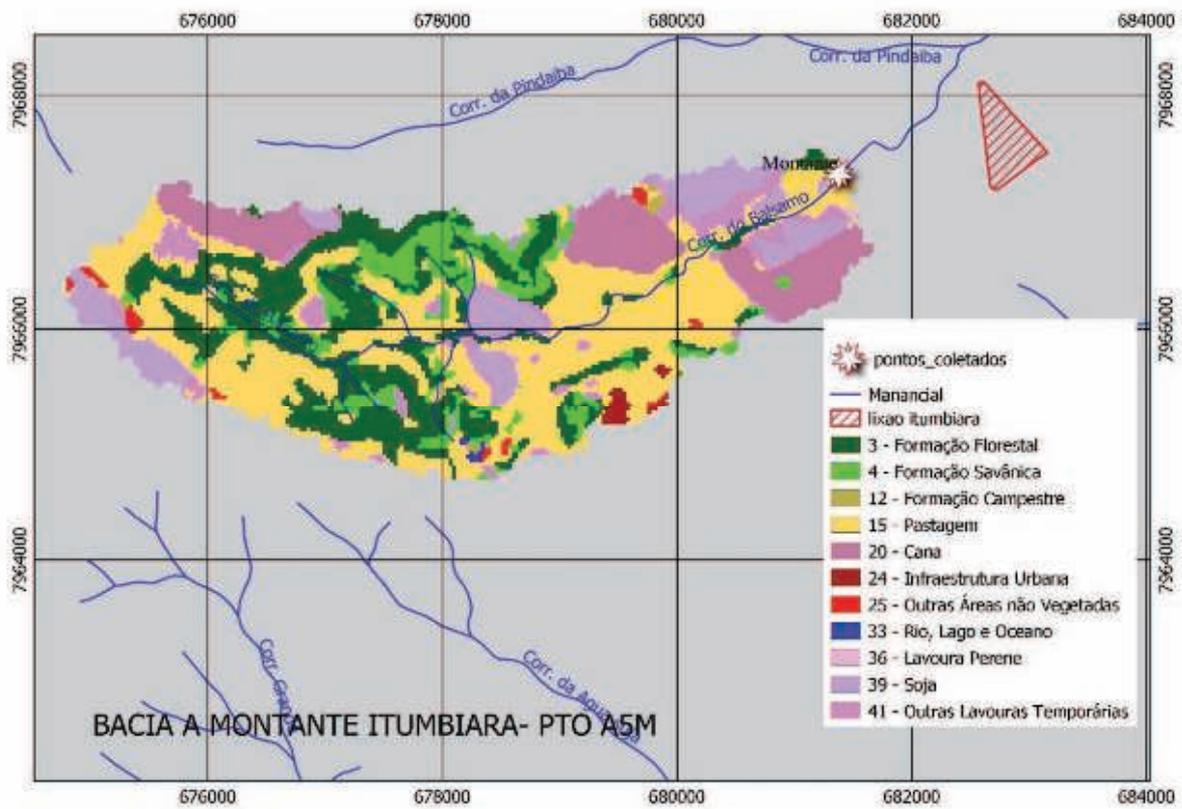
Fonte: *Word Bank* (população e produção de RSU) e *Scimago Jr.* (nº artigos publicados e citação dos artigos)

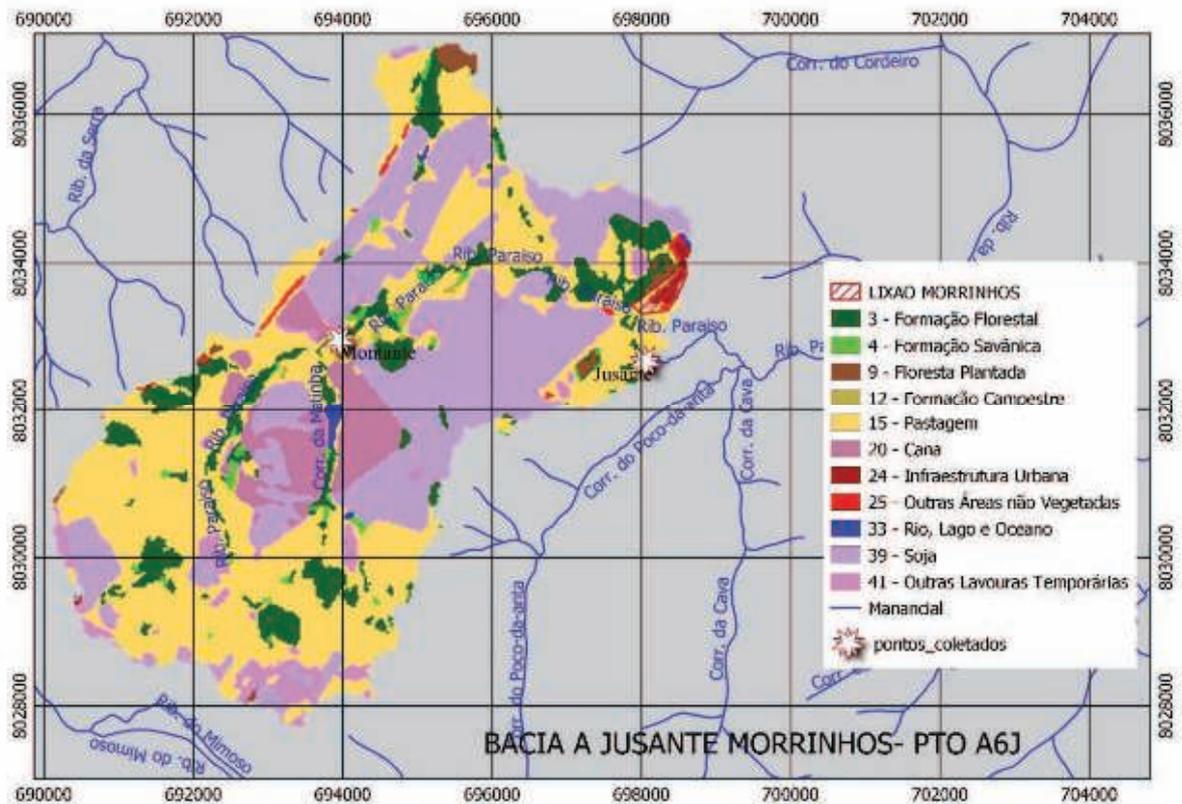
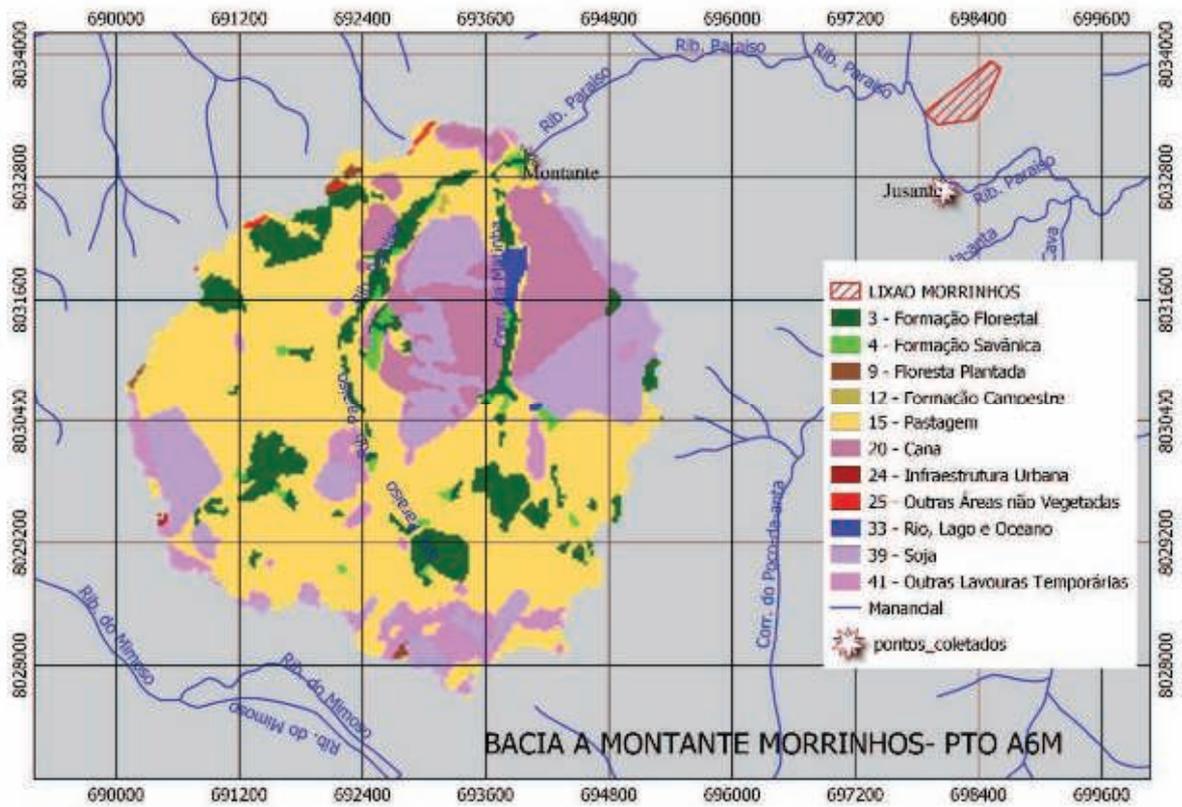
GRÁFICOS DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLO DAS  
MICROBACIAS DOS PONTOS AMOSTRAIS REFERENTE AO  
CAPÍTULO 2.

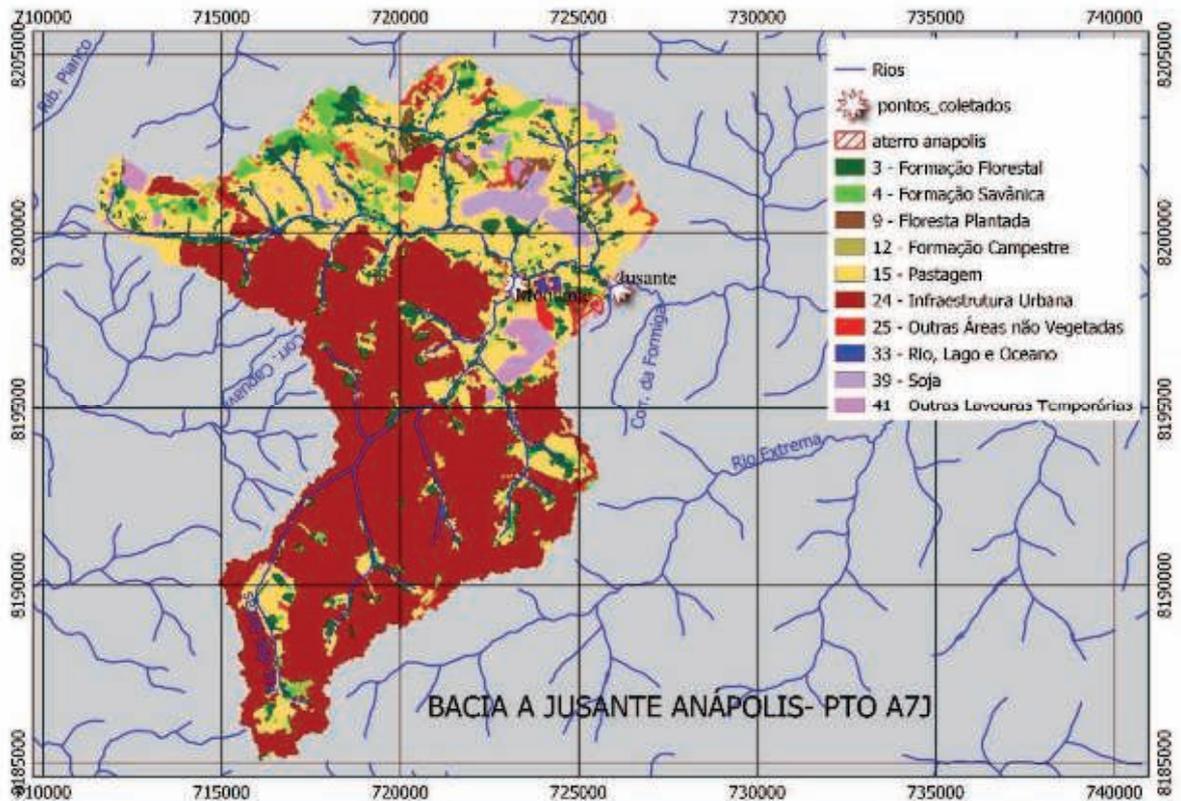
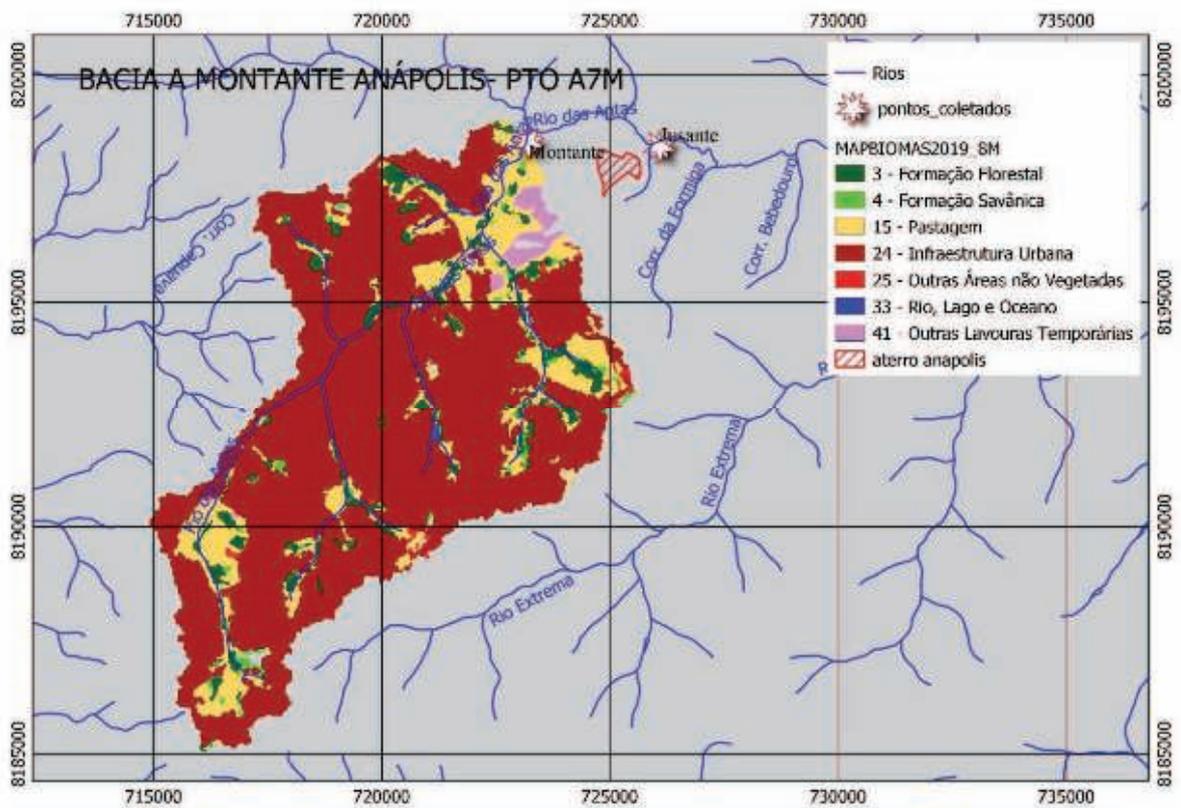


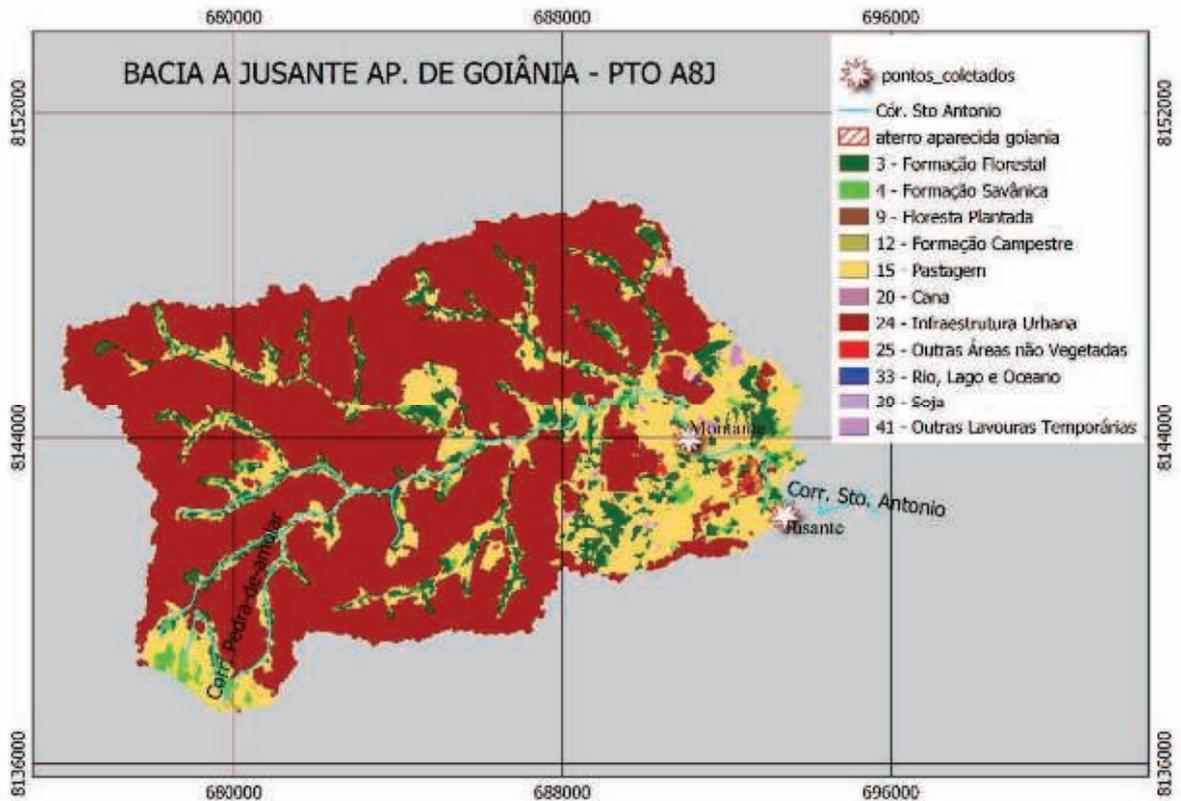
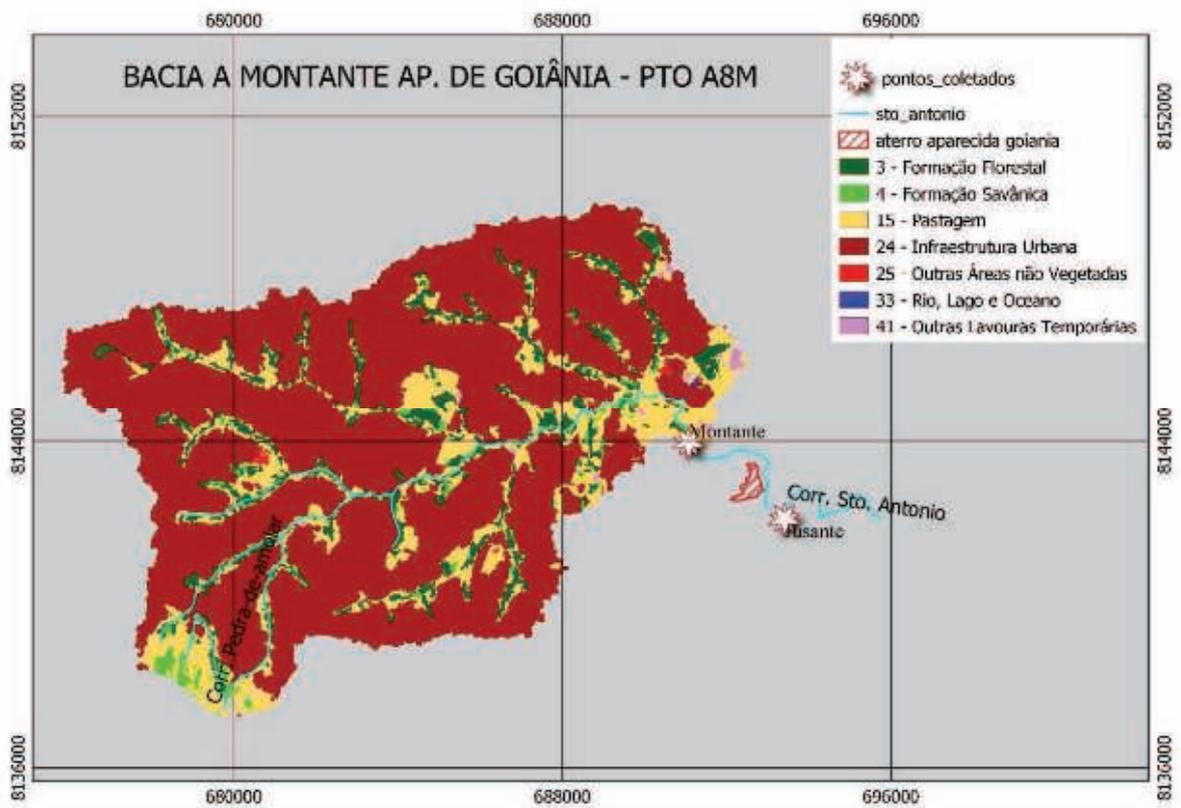












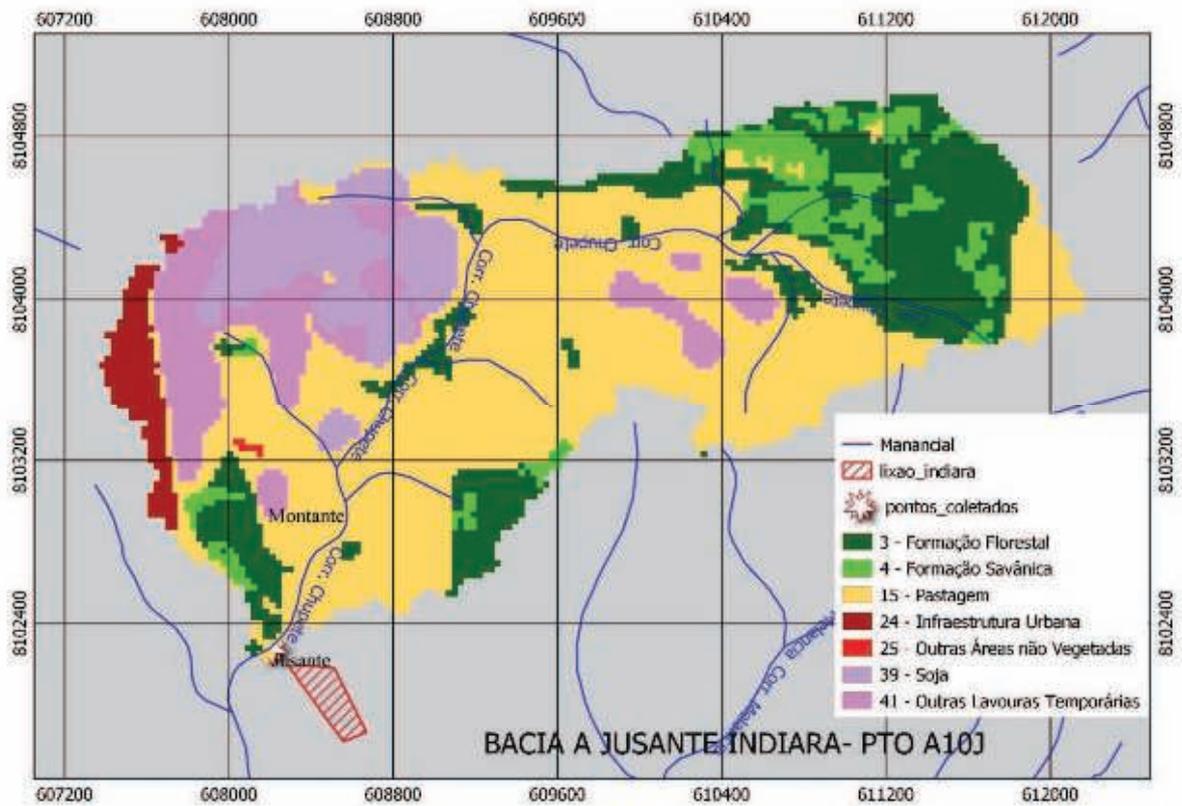
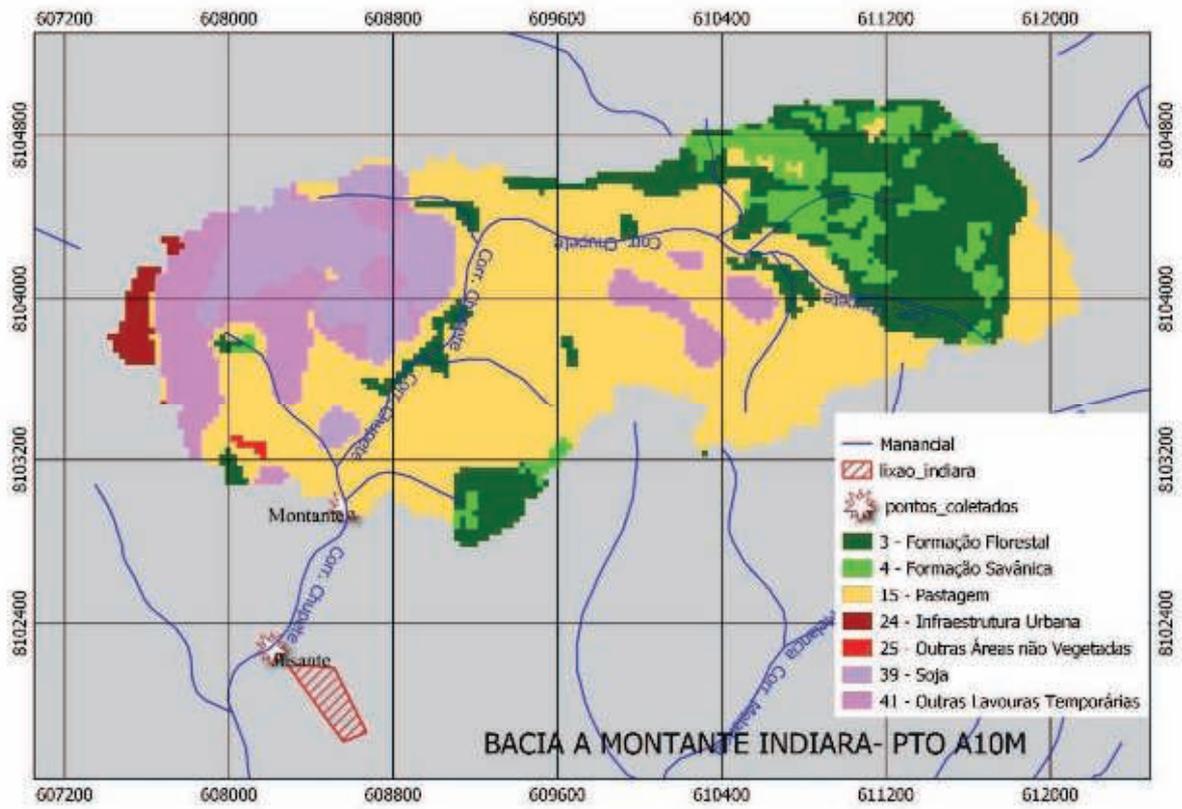


Tabela de informações da primeira coleta de dados referente ao capítulo 2.

Latitude	Longitude	Município	Mont/Jus	Tipo	Nome pto	Data coleta	Observação ao redor do ponto de coleta
-16.6471340	-49.3777060	Goiânia	Montante	Aterro	A9M	28/4/21	pasto ao redor do local da coleta. Nascente fica algumas centenas de metros acima e há um bairro antes do local de coleta
-16.6544880	-49.3593210	Goiânia	Jusante	Aterro	A9J	28/4/21	pasto e moradias de bairro próximo ao local da coleta
-16.7796180	-49.2072950	Ap. Goiânia	Montante	Aterro	A8M	28/4/21	chácaras de área urbana e extração de areia ao redor do local da coleta. córrego atravessa bairros antes de passar pelas áreas de coleta
-16.7962980	-49.1852350	Ap. Goiânia	Jusante	Aterro	A8J	28/4/21	chácaras de área urbana ao redor do local da coleta
-16.3243620	-49.5400650	Inhumas	Montante	Lixão	A3M	29/4/21	pasto e plantio de hortaliças ao redor da APP da coleta
-16.3182100	-49.5312100	Inhumas	Jusante	Lixão	A3J	29/4/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.6797890	-49.5310870	Trindade	Montante	Aterro	A1M	29/4/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.6520010	-49.5378910	Trindade	Jusante	Aterro	A1J	29/4/21	pasto e chácaras de area urbana ao redor da APP da coleta
-16.4390090	-49.9856030	Anicuns	Montante	Lixão	A2M	29/4/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.4390870	-49.9695660	Anicuns	Jusante	Lixão	A2J	29/4/21	pasto ao redor da APP da coleta
-17.7822050	-49.1703610	Morrinhos	Montante	Lixão	A6M	30/4/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-17.7844470	-49.1317170	Morrinhos	Jusante	Lixão	A6J	30/4/21	pasto ao redor do local da coleta. Há plantio e granjas antes desse ponto.
-18.3762660	-49.2832400	Itumbiara	Montante	Lixão	A5M	30/4/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-18.3652730	-49.2717540	Itumbiara	Jusante	Lixão	A5J	30/4/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-16.6566410	-49.1150610	Senador Canedo	Montante	Aterro	A4M	3/5/21	pasto ao redor da APP da coleta

-16.6671380	-49.1246210	Senador Canedo	Jusante	Aterro	A4J	3/5/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.2839500	-48.9111850	Anápolis	Montante	Aterro	A7M	3/5/21	Chácaras de moradia ao redor do ponto
-16.2844400	-48.8842790	Anápolis	Jusante	Aterro	A7J	3/5/21	pasto ao redor do ponto de coleta
-17.1553450	-49.9792910	Indiara	Montante	Lixão	A10M	4/5/21	pasto ao redor da APP da coleta
-17.1616500	-49.9825930	Indiara	Jusante	Lixão	A10J	4/5/21	pasto e lavoura ao redor da APP da coleta

Tabela de informações da segunda coleta de dados referente ao capítulo 2.

Latitude	Longitude	Município	Mont/Jus	Tipo	Nome pto	Data Coleta	Observação ao redor do ponto de coleta
-16.6471340	-49.3777060	Goiânia	Montante	Aterro	A9M	28/6/21	pasto ao redor do local da coleta. Nascente fica algumas centenas de metros acima e há um bairro antes do local de coleta
-16.6544880	-49.3593210	Goiânia	Jusante	Aterro	A9J	28/6/21	pasto e moradias de bairro próximo ao local da coleta
-16.7796180	-49.2072950	Ap. Goiânia	Montante	Aterro	A8M	28/6/21	chácaras de área urbana e extração de areia ao redor do local da coleta. córrego atravessa bairros antes de passar pelas áreas de coleta
-16.7962980	-49.1852350	Ap. Goiânia	Jusante	Aterro	A8J	28/6/21	chácaras de área urbana ao redor do local da coleta
-16.2839500	-48.9111850	Anápolis	Montante	Aterro	A7M	28/6/21	Chácaras de moradia ao redor do ponto
-16.2844400	-48.8842790	Anápolis	Jusante	Aterro	A7J	28/6/21	pasto ao redor do ponto de coleta
-16.6566410	-49.1150610	Senador Canedo	Montante	Aterro	A4M	28/6/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.6671380	-49.1246210	Senador Canedo	Jusante	Aterro	A4J	28/6/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.3243620	-49.5400650	Inhumas	Montante	Lixão	A3M	29/6/21	pasto e plantio de hortaliças ao redor da APP da coleta
-16.3182100	-49.5312100	Inhumas	Jusante	Lixão	A3J	29/6/21	pasto ao redor da APP da coleta

-16.6797890	-49.5310870	Trindade	Montante	Aterro	A1M	29/6/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.6520010	-49.5378910	Trindade	Jusante	Aterro	A1J	29/6/21	pasto e chácaras de area urbana ao redor da APP da coleta
-16.4390090	-49.9856030	Anicuns	Montante	Lixão	A2M	29/6/21	pasto ao redor da APP da coleta
-16.4390870	-49.9695660	Anicuns	Jusante	Lixão	A2J	29/6/21	pasto ao redor da APP da coleta
-17.7822050	-49.1703610	Morrinhos	Montante	Lixão	A6M	3/7/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-17.7844470	-49.1317170	Morrinhos	Jusante	Lixão	A6J	3/7/21	pasto ao redor do local da coleta. Há plantio e granjas antes desse ponto.
-18.3762660	-49.2832400	Itumbiara	Montante	Lixão	A5M	3/7/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-18.3652730	-49.2717540	Itumbiara	Jusante	Lixão	A5J	3/7/21	plantio e pasto ao redor do local da coleta.
-17.1553450	-49.9792910	Indiara	Montante	Lixão	A10M	3/7/21	pasto ao redor da APP da coleta
-17.1616500	-49.9825930	Indiara	Jusante	Lixão	A10J	3/7/21	pasto e lavoura ao redor da APP da coleta

#### Tabela dos DOI(s) dos artigos de interesse referente ao capítulo 1.

10.15551/pesd2021152003	10.1016/j.envres.2018.10.010	10.1016/j.ecoenv.2021.111913
10.1007/s12665-009-0105-6	10.1016/j.jenvman.2012.05.028	10.1016/j.jenvman.2020.110661
10.1007/s12517-021-06571-z	10.1590/S1413-41522014019000000444	10.1021/acsestwater.1c00305
10.1007/s10653-013-9576-1	10.1590/S1413-4152201600100120706	10.5004/dwt.2020.25309
10.18268/BSGM2016v68n2a11	10.1590/S1413-41522018174184	10.1016/j.jconhyd.2015.09.009
10.1002/eco.2181	10.1590/S1413-41522018173619	10.1016/j.scitotenv.2016.04.117
10.2112/1551-5036(2004)20[709:HIRLOT]2.0.CO;2	10.1590/S1413-41522020180223	10.1016/j.scitotenv.2021.147649
10.1016/j.scitotenv.2017.10.148	10.31025/2611-4135/2020.13948	10.1016/j.enggeo.2021.106259
10.1016/j.scitotenv.2019.02.203	10.5004/dwt.2019.24269	10.1016/j.scitotenv.2013.07.062
10.1016/S0266-352X(99)00009-9	10.1016/j.jconhyd.2020.103623	10.1016/j.gexplo.2013.09.008
10.1016/j.envpol.2018.06.004	10.1016/S0269-7491(02)00108-2	10.1016/j.scitotenv.2014.05.068
10.1016/j.envpol.2019.02.018	10.1016/j.jenvrad.2017.05.013	10.1100/tsw.2008.129

10.1016/j.wasman.2014.06.018	10.1016/j.jece.2020.104400	10.1680/jenes.18.00014
10.1007/s00254-004-0978-3	10.1007/s11356-017-1046-3	10.2166/ws.2017.066
10.1007/s11270-015-2475-6	10.1007/s11356-020-10097-4	10.2166/wcc.2019.047
10.1016/0165-7992(94)90081-7	10.1007/s11356-020-09885-9	10.3390/toxics5020013
10.1016/j.gsd.2019.100311	10.1080/10739140600811682	10.1016/j.jafrearsci.2017.11.021
10.1051/radiopro/2021015	10.1080/10934529.2019.1631093	10.1016/j.jafrearsci.2018.06.024
10.1590/S0044-59672013000100007	10.4025/actascitechnol.v34i1.6771	10.5696/2156-9614-7.14.15
10.1515/nuka-2017-0043	10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p769-774	10.5696/2156-9614-8.20.181209
10.18845/rfmk.v15i37.3596	10.2175/106143097X125920	10.5696/2156-9614-8.18.180604
10.2166/wst.2008.266	10.3178/hrl.14.48	10.1016/j.jenvrad.2012.01.022
10.1016/j.chemosphere.2004.09.026	10.1155/2019/6362134	10.1016/j.envres.2014.09.010
10.1016/j.wasman.2018.02.027	10.1139/z97-767	10.5004/dwt.2020.25374
10.1590/S0100-40422009000400025	10.1016/j.psep.2019.10.008	10.1016/j.envpol.2020.115643
10.1007/s00254-006-0529-1	10.1016/j.scitotenv.2020.142472	10.1016/j.cej.2018.11.137
10.1007/s00128-014-1313-7	10.1016/j.envpol.2013.08.021	10.1680/jenge.18.00031
10.1007/s12665-013-2643-1	10.1016/j.envpol.2021.116474	10.2166/wst.2016.517
10.1007/s12665-016-6201-5	10.1016/S1383-5718(98)00024-2	10.3390/w7062656
10.1007/s12665-016-6157-5	10.1016/j.jhydrol.2011.02.013	10.3390/su8121253
10.1007/s12665-017-7180-x	10.1111/j.1745-6584.1998.tb02198.x	10.3390/su12114531
10.1007/s10668-017-0040-8	10.1016/j.wasman.2014.10.011	10.3390/toxics9030066
10.1007/s12665-020-8834-7	10.1007/s11356-018-3967-x	10.3390/su13147769
10.1007/s12560-020-09431-3	10.1007/s11356-019-05541-z	10.3390/w8100470
10.1007/s10661-020-8206-5	10.15244/pjoes/67064	10.7717/peerj.10546
10.1007/s12665-021-09621-7	10.2166/wst.2016.396	10.1016/j.chemosphere.2013.03.037
10.1007/s12665-021-09401-3	10.3390/w11122496	10.1016/j.chemosphere.2013.05.049
10.1007/s10064-004-0268-z	10.3390/ijerph17030899	10.3103/S1063455X14030084
10.1007/s11356-016-6567-7	10.3390/ijerph18147690	10.7306/gq.1420
10.1007/s11356-017-9725-7	10.1016/j.wasman.2010.01.040	10.12911/22998993/111718
10.1007/s11356-017-0115-y	10.1016/j.chemosphere.2019.125207	10.1016/S0883-2927(02)00153-1
10.1016/S0273-1223(98)00233-9	10.1016/j.envint.2019.105404	10.1016/j.chemosphere.2011.09.046
10.1016/j.chemosphere.2019.124574	10.1039/c4em00194j	10.1016/j.wasman.2014.12.020

10.1007/s00128-007-9305-5	10.1007/s10661-012-2801-z	10.1016/j.marpolbul.2016.12.058
10.2175/106143007X156691	10.1007/s12665-015-4669-z	10.1080/09542299.1995.11083244
10.1016/j.gexplo.2005.08.010	10.1007/s10661-017-5832-7	10.1007/s11270-014-2261-x
10.2166/wst.2011.503	10.1007/s11356-015-5010-9	10.1007/s11273-017-9536-0
10.1007/s00254-005-0110-3	10.1007/s11356-016-7308-7	10.1007/BF01740474
10.1007/s00128-008-9361-5	10.1007/s11356-018-4053-0	10.1111/j.1745-6584.2001.tb02300.x
10.1021/es00005a035	10.1007/s11356-020-10093-8	10.1111/j.1745-6592.2006.00066.x
10.1021/es00005a036	10.1016/j.rsma.2019.100805	10.1111/j.1745-6592.2010.01279.x
10.1021/es9902524	10.5562/cca3145	10.24425/122454
10.1029/1998WR900102	10.1016/j.scitotenv.2014.06.123	10.1007/s12517-017-3138-2
10.1128/AEM.02600-15	10.1016/j.envint.2005.04.004	10.1002/vjch.202000157
10.1016/j.jhydrol.2012.04.012	10.1007/s12517-014-1300-7	10.2166/wst.2021.448
10.1016/0169-7722(92)90011-3	10.1007/s11270-005-0279-9	10.5696/2156-9614-7.15.18
10.1016/0169-7722(95)00025-Q	10.1155/2020/5157046	10.1006/taap.2001.9194
10.1016/S0169-7722(03)00004-4	10.1007/s40899-019-00328-z	10.1016/S0016-6480(03)00267-3
10.1111/j.1574-6941.1995.tb00287.x	10.3846/jeelm.2021.14834	10.1016/S0048-9697(02)00503-X
10.1016/S0043-1354(96)00091-7	10.1016/S0269-7491(02)00307-X	10.1007/s00254-005-0117-9
10.1016/S0043-1354(97)00202-9	10.1021/es010245r	10.1016/S0043-1354(99)00368-1
10.1016/S0043-1354(98)00486-2	10.1016/j.desal.2010.05.007	10.1034/j.1399-3070.2000.00147.x
10.1016/j.wasman.2012.06.014	10.1016/j.ecoleng.2014.03.072	10.3390/ijerph17061980
10.1016/j.scitotenv.2019.136088	10.1016/j.scitotenv.2018.12.256	10.1080/10807039.2017.1300856
10.1007/s00128-020-03089-0	10.1016/j.scitotenv.2018.11.406	10.1080/10807039.2018.1473755
10.1007/s12665-015-4610-5	10.1177/0734242X10388348	10.1016/j.wasman.2004.07.002
10.1007/s41062-020-00436-2	10.1080/09593332308618373	10.1504/IJEP.2004.006057
10.1186/1735-2746-9-35	10.1007/s12665-016-5725-z	10.1007/s10661-007-9662-x
10.1016/j.resconrec.2010.08.003	10.1007/s13201-019-0915-y	10.1007/s10661-010-1568-3
10.1016/j.gsd.2019.100230	10.1111/wej.12664	10.1007/s12517-018-3907-6

10.1016/j.gsd.2020.100461	10.1016/j.scitotenv.2017.11.043	10.1007/s002540050339
10.1016/j.scitotenv.2016.12.003	10.1080/10256010008036382	10.1080/09593330.2017.1365936
10.30955/gnj.002561	10.1016/j.watres.2006.04.049	10.1016/j.pce.2005.08.016
10.15244/pjoes/131201	10.1016/j.apgeochem.2019.104375	10.1016/j.jafrearsci.2021.104310
10.18520/cs/v114/i01/166-173	10.1007/s10311-003-0054-3	10.17721/1728-2713.87.11
10.1016/j.chemosphere.2019.124507	10.1007/s11356-009-0234-1	10.17721/1728-2713.91.08
10.1016/j.quaint.2018.06.011	10.1007/s00767-012-0213-1	10.1080/10473289.1994.10467323
10.1007/s10661-006-1505-7	10.1007/s00216-012-5941-7	10.1021/es970389z
10.1007/s10661-006-9494-0	10.1016/0048-9697(93)90180-E	10.1021/es051054h
10.1007/s10661-016-5336-x	10.3390/w13070989	10.1029/2010WR009459
10.1007/s11269-016-1299-5	10.1023/A:1006613530137	10.1016/j.scitotenv.2008.04.028
10.1007/s10661-017-6233-7	10.1007/s10666-006-9050-x	10.1016/j.jconhyd.2006.03.005
10.1007/s10661-017-6417-1	10.5277/epe180107	10.1016/j.jconhyd.2008.11.008
10.1007/s13762-018-2063-6	10.22438/jeb/40/4(SI)/JEB_12	10.1007/BF00479894
10.1007/s10668-018-0257-1	10.7508/pj.2017.03.009	10.1007/BF00478351
10.1007/s10661-020-08315-0	10.22146/ijc.25702	10.1016/0043-1354(92)90053-7
10.1007/s10661-021-09040-y	10.1016/j.marpolbul.2021.111986	10.1016/0045-6535(95)00198-H
10.1007/s11356-010-0401-4	10.1016/j.gexplo.2005.08.003	10.12911/22998993/132658
10.1007/s12517-015-2131-x	10.1016/j.envint.2003.12.006	10.1007/s10661-020-08564-z
10.1007/s13201-017-0544-2	10.1007/BF03325971	10.14233/ajchem.2013.14688
10.1007/s13201-016-0480-6	10.1007/BF03326146	10.1016/j.jhydrol.2020.125581
10.1007/s11356-017-0717-4	10.1007/s12665-016-5463-2	10.1016/j.gexplo.2016.08.001
10.1007/s40808-018-0464-7	10.1007/s10661-019-7886-1	10.1007/s10661-019-7215-8
10.1007/s12594-019-1366-7	10.1007/s10661-019-7719-2	10.1007/s10653-019-00417-0
10.1007/s42452-020-2199-0	10.1007/s12517-014-1486-8	10.1007/s41742-020-00307-9
10.1186/s40703-018-0095-x	10.1007/s40808-017-0381-1	10.1080/03067319.2021.1958800
10.1081/ESE-120027529	10.1007/s13201-018-0677-y	10.4314/jfas.v9i1s.707
10.1080/10807039.2019.1695193	10.1007/s40808-018-0455-8	10.1007/s10661-015-4971-y
10.1080/03067319.2020.1862813	10.1007/s13201-018-0775-x	10.1016/j.gexplo.2016.10.011
10.31407/ijees10.216	10.1007/s12517-020-05651-w	10.1016/j.gexplo.2018.02.019
10.1007/s11270-020-04688-7	10.1007/s40808-020-00796-9	10.3390/w11091933
10.2166/wst.2017.279	10.1007/s12517-020-05875-w	10.3390/w1122624

10.1007/s10661-021-09640-8	10.1007/s13201-020-01355-4	10.3390/w13081065
10.5200/baltica.2019.2.1	10.1007/s12517-021-07766-0	10.1016/j.chemosphere.2003.08.013
10.3390/ijerph17062007	10.1007/s40899-021-00565-1	10.1016/j.wasman.2018.05.014
10.3846/1648-6897.2009.17.131-139	10.1023/A:1020165403531	10.1016/j.wasman.2019.06.010
10.1007/s13201-018-0695-9	10.1007/s002540000114	10.1016/j.wasman.2018.12.005
10.17221/4/2011-SWR	10.31407/ijees10.106	10.1007/s10661-018-6594-6
10.3233/AJW-170005	10.17794/rgn.2021.5.11	10.1007/s12403-021-00401-z
10.3390/w12102877	10.1016/j.scitotenv.2020.140307	10.1007/s11356-017-9198-8
10.1016/j.wasman.2009.05.022	10.1016/j.scitotenv.2021.147349	10.1007/s11270-012-1380-5
10.1007/s12665-014-3675-x	10.1016/j.scitotenv.2020.143725	10.1128/mSphere.00346-18
10.1007/s11356-012-1423-x	10.1038/s41598-021-94041-7	10.1061/(ASCE)1084-0699(2003)8:4(204)
10.17576/jsm-2019-4811-10	10.1080/10934520802231966	10.21660/2017.38.2761
10.1127/njgpa/236/2005/225	10.1080/10256016.2012.668902	10.2116/bunsekikagaku.56.1177
10.3390/ijerph182111195	10.1038/s41598-021-94616-4	10.3390/ijerph16010022
10.1016/j.wasman.2008.03.024	10.5601/jelem.2012.17.4.11	10.1016/S0045-6535(00)00458-6
10.1016/j.wasman.2018.12.012	10.1371/journal.pone.0133130	10.1007/s10661-007-9897-6
10.1007/s12665-013-2456-2	10.2428/ecea.2017.24(2)15	10.1016/j.jappgeo.2008.06.005
10.1007/s12665-016-5860-6	10.1007/s12665-012-1694-z	10.1016/j.jenvman.2016.09.002
10.1080/10473289.2005.10464665	10.1007/s10661-014-3649-1	10.1080/09603129973353
10.1080/09593330.2012.660644	10.1007/s12665-018-7455-x	10.1016/j.scitotenv.2012.08.039
10.30827/cuadgeo.v58i1.6799	10.1007/s10661-019-7814-4	10.1016/j.eti.2020.100745
10.1128/AEM.67.10.4619-4629.2001	10.1007/s10661-019-7279-5	10.1016/j.dib.2018.01.072
10.1016/j.jenvman.2019.110019	10.1007/s12665-021-09743-y	10.1108/MEQ-08-2017-0077
10.1016/j.scitotenv.2017.09.283	10.1007/s10661-021-08850-4	10.1007/s12665-017-6700-z
10.1016/j.wasman.2016.04.033	10.1007/s11356-016-7622-0	10.1007/s10653-019-00427-y
10.1016/0165-1218(95)90084-5	10.1007/s11356-015-5359-9	10.1016/j.jenvman.2010.10.052
10.1515/chem-2018-0008	10.5277/epe180108	10.1007/s11270-005-5998-4
10.1016/j.heliyon.2020.e04249	10.1016/j.jappgeo.2004.08.007	10.1080/02772249209357809
10.25131/sajg.122.0026	10.1016/j.jappgeo.2006.01.002	10.15828/2075-8545-2017-9-2-103-118
10.3390/geosciences8070231	10.30638/eemj.2013.205	10.12911/22998993/128872
10.3390/su11154238	10.30638/eemj.2014.048	10.4028/www.scientific.net/JERA.33.68

10.3390/molecules25235599  
10.1177/1178622119872771  
10.1515/geo-2019-0045

10.30638/eemj.2017.065  
10.25750/1995-4301-2021-1-104-111  
10.1080/10934529409376044

10.1007/s13762-018-2124-x  
10.1007/s12517-011-0478-1  
10.1007/s12517-021-06583-9

10.1007/s11356-014-3443-1  
10.4314/wsa.v45i2.09

10.1080/02508060.2007.9709693  
10.1007/s00254-006-0353-7

10.25750/1995-4301-2021-4-119-126  
10.2166/wst.2009.855

---