



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP

INTEGRATED ENVIRONMENTAL ANALYSIS, A TOOL AT MONITORING AND MANAGING URBAN AREAS: STUDY OF THE CACHOEIRINHA INVERNADA WATERSHEDS-GUARULHOS/SP

ANÁLISIS AMBIENTAL INTEGRADO, UNA HERRAMIENTA PARA EL MONITOREO Y GESTIÓN DE ÁREAS URBANAS: ESTUDIO DE LA CUENCA DE CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP

Otair Pelisson¹, João Alexandre Saviolo Osti², Fabrício Bau Dalmas², Luís Henrique Nunes de Souza³, Marisa Vianna Mesquita², Renata Cristina Araújo Costa², Ricardo Keiichi Nakazato², Marcio Magera Conceição², Patricia Bulbovas-Hueb²

e5126110

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i12.6110>

PUBLICADO: 12/2024

RESUMO

O diagnóstico ambiental integrado de bacias hidrográficas baseado em técnicas de sensoriamento remoto combinando com amostragens de campo, é uma metodologia alternativa, voltada ao estudo de regiões metropolitanas que apresentam elevado processo de degradação ambiental. O objetivo do presente estudo foi avaliar de forma integrada como o uso e ocupação da terra agem sobre a poluição atmosférica e qualidade da água da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada (BHCI), Guarulhos/SP. Técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas combinados com obtenção de dados secundários para poluição do ar e campanhas para avaliação da qualidade da água e validação dos dados espaciais. Variáveis foram obtidas em seis estações, espacializadas de forma a abranger diferentes usos e coletadas bimestralmente entre abril e outubro de 2024. A análise integrada a partir da matriz de correlação de Pearson e as cargas da análise fatorial demonstraram que variáveis de qualidade do ar e água estão fortemente relacionadas ao uso da terra, como cobertura vegetal e densidade populacional. A análise de Cluster indicou a formação de dois grupos: 1) maior cobertura vegetal associada com as maiores concentrações de oxigênio dissolvido; 2) maior grau de urbanização associada às maiores concentrações de dióxido de nitrogênio no ar e na água de fósforo total, sólidos totais dissolvidos, turbidez e *E. coli*, indicando a contaminação causada pelo lançamento de esgotos. A análise integrada foi a ferramenta sensível e robusta que demonstrou a intensa transformação da ocupação na BHCI e como este uso da terra reflete nas condições ambientais de poluição do ar e água.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico ambiental. Qualidade da água. Qualidade do ar. Uso e ocupação da terra. Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Integrated environmental diagnosis in watersheds based on remote sensing techniques combined with field sampling is an alternative methodology, mainly at areas located in metropolitan regions that present a high level of environmental degradation. The study aimed was to evaluate in an integrated manner how land use and occupation affect atmospheric pollution and water quality in the Cachoeirinha Invernada Watershed (BHCI), Guarulhos/SP. Thus, remote sensing techniques were used and combined with secondary air pollution data and sampling campaigns to assess water quality and validate spatial data. The variables were obtained at six stations, spatially arranged to cover different land uses throughout the basin and collected bimonthly between April and October 2024. Integrated analysis based on Pearson's correlation matrix and factor analysis loads demonstrated that water quality variables are strongly related to land use, such as vegetation cover and population density. Cluster analysis indicated the formation of two groups; 1) areas with greater vegetation cover associated with higher concentrations of dissolved oxygen. In contrast, 2) areas with greater urbanization and

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Análise Ambiental na Universidade Guarulhos (UNG), Guarulhos, Brasil.

² Prof. Dr. (a) do Programa de Mestrado em Análise Ambiental da Universidade Guarulhos, Guarulhos, Brasil.

³ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Enfermagem na Universidade Guarulhos (UNG).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

associated with higher concentrations of total phosphorus, total dissolved solids, turbidity and E. coli, indicating contamination caused by the discharge of sewage. The integrated analysis was a sensitive and robust tool that demonstrated the intense transformation of occupation in the BHCI and how this land use is reflected in the environmental conditions of atmospheric pollution and water quality of watercourses.

KEYWORDS: *Environmental diagnosis. Water quality. Atmospheric pollution. Land use and occupation. Environmental monitoring.*

RESUMEN

El diagnóstico ambiental integrado de cuencas hidrográficas basado en técnicas de teledetección combinadas con muestreos de campo es una metodología alternativa, dirigida principalmente a áreas ubicadas en regiones metropolitanas que presentan un alto proceso de degradación ambiental. El objetivo del presente estudio fue evaluar de manera integrada cómo el uso y la ocupación del suelo afectan la contaminación atmosférica y la calidad del agua en la Cuenca Hidrográfica Cachoeirinha Invernada (BHCI), Guarulhos/SP. Para ello, se utilizaron técnicas de teledetección para preparar el mapa de uso y ocupación del suelo y se combinaron con la obtención de datos secundarios de contaminación del aire y campañas de muestreo para evaluar la calidad del agua y validar datos espaciales. Las variables se obtuvieron en seis estaciones, especializadas para cubrir diferentes usos a lo largo de la cuenca y recolectadas bimestralmente entre abril y octubre de 2024. El análisis integrado basado en la matriz de correlación de Pearson y las cargas del análisis factorial demostraron que las variables de Calidad del agua están fuertemente relacionadas al uso de la tierra, como la cubierta vegetal y la densidad de población. El análisis de conglomerados indicó la formación de dos grupos; 1) áreas con mayor cobertura vegetal asociadas a las mayores concentraciones de oxígeno disuelto. En contraste, el Grupo 2 con áreas con mayor grado de urbanización y asociadas con mayores concentraciones de fósforo total, sólidos disueltos totales, turbiedad y E. coli, indicando contaminación por descarga de aguas residuales domésticas. El análisis integrado fue una herramienta sensible y robusta que demostró la intensa transformación de la ocupación en BHCI y cómo este uso de la tierra reflejaba las condiciones ambientales de contaminación atmosférica y calidad del agua en los cursos de agua.

PALABRAS CLAVE: *Diagnóstico ambiental. Calidad del agua. Contaminación atmosférica. Uso y ocupación del suelo. Monitoreo ambiental.*

INTRODUÇÃO

O último censo realizado no Brasil mostrou que 87,4% da população brasileira vive em áreas urbanas, evidenciando que as cidades estão em constante crescimento no país (IBGE, 2023). No entanto, historicamente, o desenvolvimento urbano brasileiro nem sempre é acompanhado de infraestrutura de qualidade, levando grande parte da população urbana a viver em moradias precárias e sem infraestrutura adequada de saneamento básico. Isto é consequência da ausência de investimentos públicos na mesma medida e velocidade que as cidades crescem, como também, do grande déficit habitacional que as áreas urbanas apresentam (Amanda Rosa; Faria Filho, 2023; Codo *et al.* 2024).

Em regiões metropolitanas, como a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a motivação de viver na cidade está relacionada às ofertas e oportunidades profissionais e sociais. O município de Guarulhos, que compõe a RMSP, é um exemplo de cidade que sofreu um processo de crescimento desordenado. No município, a ocupação do espaço sempre parte de uma planície próxima ao principal



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

tributário de uma microbacia e dirige-se à periferia, onde se localizam as nascentes. Em grande parte, a área ocupada não apresenta a infraestrutura necessária, levando à degradação do meio ambiente (Codo *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2006).

A degradação ambiental causada pelas mudanças do uso da terra nas cidades está relacionada à utilização indiscriminada dos recursos naturais, que tem como objetivo atender às demandas por habitação e mobilidade, ocasionando a poluição atmosférica e dos corpos hídricos, e a diminuição de áreas verdes (Amanda Rosa; Faria Filho, 2023; Lourenço *et al.*, 2022).

Municípios que são altamente populosos e industrializados, como Guarulhos, além de contarem com a emissão de poluentes por parte das indústrias, também apresentam grande circulação de veículos automotores que transportam pessoas e escoam a produção industrial, levando ao aumento da concentração de poluentes como os dióxidos de nitrogênio e enxofre, e o ozônio. Esses poluentes, além de causarem problemas de saúde à população, também provocam danos à vegetação (Souza; Oliveira; Bulbovas, 2021).

A contaminação dos recursos hídricos nas cidades está relacionada à ocupação desordenada e não acompanhada de estrutura de saneamento, que leva ao lançamento de esgoto doméstico e industrial nos cursos d'água, diminuindo a qualidade da água da bacia hidrográfica, colocando em risco não somente os organismos aquáticos, como também a saúde da população (Rosa; Oliveira; Saad, 2014).

Ainda, em relação à degradação dos recursos hídricos nas cidades, a ocupação urbana ocasiona a modificação da cobertura vegetal. As florestas nativas são substituídas por moradias, muitas vezes construídas sem nenhum planejamento, em locais inadequados, muito próximas aos rios e nascentes (Araújo Jr, 2013). O que se observa são processos de erosão que levam ao aumento de sedimentos nos cursos d'água, alterando a vazão e a disponibilidade hídrica (Panagos *et al.*, 2020; Perazzoli *et al.*, 2013), e o soterramento das nascentes.

A substituição da vegetação por concreto e asfalto, como observado na paisagem urbana, não causa danos apenas aos recursos hídrico, mas também ocasiona a diminuição do conforto térmico. Isso ocorre porque, ao realizar a fotossíntese, a vegetação absorve parte da radiação luminosa que incide sobre o solo, contribuindo para a atenuação da temperatura de superfície. Ela também mantém a umidade local, pois durante o processo fotossintético transfere para a atmosfera vapor d'água. Assim, em locais com menor quantidade de vegetação a temperatura da superfície terrestre é mais alta (Amanda Rosa; Faria Filho, 2023).

Dessa forma, a qualidade do ar e da água, como também a cobertura vegetal e o clima, são fatores importantes a serem considerados em uma análise ambiental urbana. Por ser a bacia hidrográfica uma unidade básica de estudo, ao considerar esses fatores citados em uma análise de qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica, é possível diagnosticar os problemas que ela vem sofrendo devido aos processos de urbanização, permitindo definir estratégias de ocupação do solo urbano. Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar a qualidade ambiental urbana da Bacia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Hidrográfica Cachoeirinha Invernada (BHCI), situada na região norte do município de Guarulhos, estado de São Paulo, utilizando a qualidade do ar e da água, a cobertura vegetal, e o clima como indicadores.

O intuito do estudo não foi somente diagnosticar quantitativamente e qualitativamente estes fatores na BHCI, na cidade Guarulhos, mas também propor uma ferramenta de análise ambiental integrada que poderá ser aplicada para outras regiões. Também, criar elementos para discutir sobre a qualidade ambiental, auxiliando em decisões estratégicas para uma ocupação adequada dos espaços urbanos, possibilitando equipar o poder público com conhecimento que contribua para formulação de políticas públicas e tomadas de decisão, contribuindo para vários dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como Saúde e Bem-Estar, Água Potável e Saneamento, e Cidades e Comunidades Sustentáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada (BHCI) está localizada no município de Guarulhos (Figura 1), que possui cerca de 1,3 milhões de habitantes, e é considerado o segundo maior município do Estado de São Paulo, ficando atrás apenas da capital (IBGE, 2023). A BHCI está situada na porção norte do município de Guarulhos, com 7,5 Km² de extensão. Ela possui elevada declividade devido à presença de morros altos ao norte do município. A sudoeste e sudeste há colinas separadas por várzea do córrego Cachoeirinha classificada como planície, que se estende até a porção central da área da bacia (Dias, 2020).

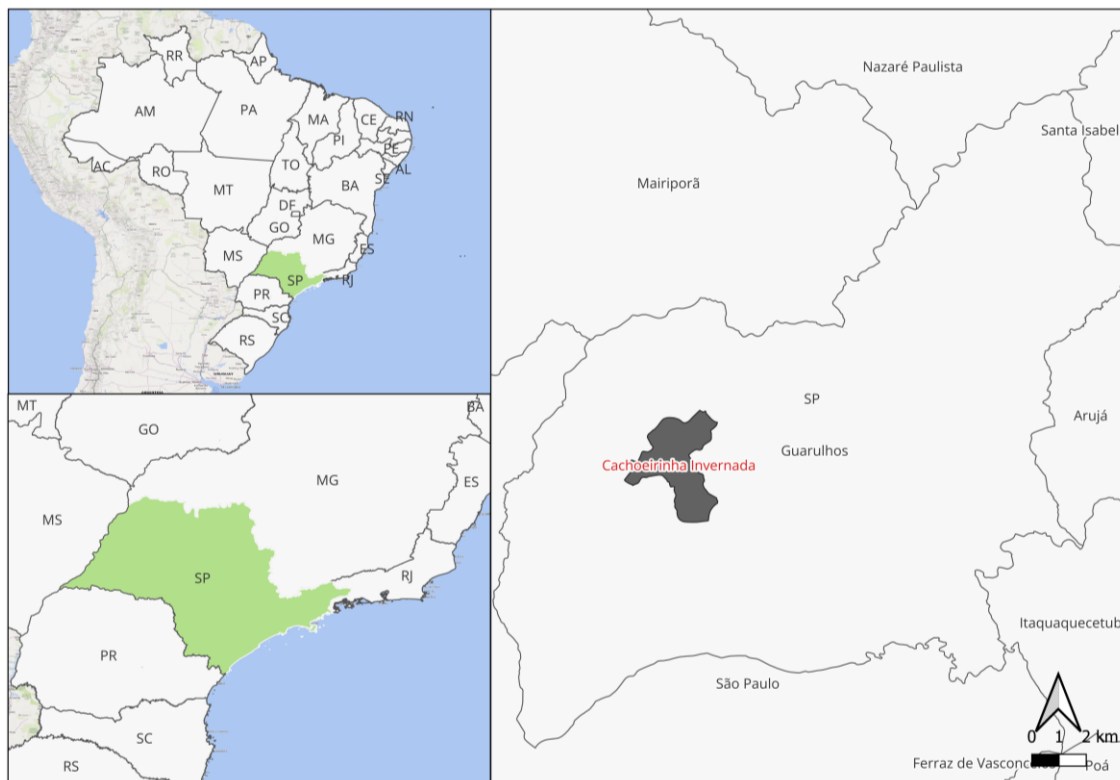
O Clima da região é o subtropical úmido, classificado com Cwb temperado quente (C), de acordo com a classificação de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso, com influência de frentes frias da Antártica e de umidade proveniente do Oceano Atlântico. A temperatura média anual está entre 18°C e 19°C, sendo a média do mês mais frio inferior a 15°C e a dos meses de verão entre 23°C e 24°C. O índice pluviométrico está entre 1.250 e 1.500 mm/ano (Andrade *et al.*, 2008).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada



Fonte: Autores

Delimitação experimental

Para a análise integrada das variáveis ambientais designadas ao uso da terra, parâmetros de poluentes atmosféricos e de qualidade da água foram tomados.

Para avaliar a qualidade da água, campanhas amostrais foram realizadas bimensalmente entre abril e outubro de 2024 (n=4), em seis estações amostrais. As estações amostrais foram demarcadas com o auxílio de um sistema de posicionamento global de satélites (GPSMAP 76CS/Garmim) (Tabela 1). A definição das estações amostrais teve como critério o uso e ocupação da terra, como definido por Oliveira *et al.*, (2018) e validado em campo, sendo elas: Estação 1 (P1) - local de coleta mais a montante do córrego Invernada, com presença de vegetação preservada, situado ao lado da Avenida Silvestre Pires de Freitas, próximo ao nº 4500 (Figura 2A); Estação 2 (P2) - lago artificial situado na Avenida Silvestre Pires de Freitas, próximo ao nº 3000 (Figura 2B); Estação 3 (P3) - corpo hídrico com intenso processo de ocupação, situado na rua Rosa sem número, no Bairro Recreio São Jorge (Figura 2C); Estação 4 (P4) - situado na Estrada Recreio São Jorge, no Bairro Recreio São Jorge (Figura 2D); Estação 5 (P5) - trecho densamente povoado, situado na rua Santo Estevão, em frente ao nº 284, no Bairro Taboão (Figura 2E); Estação 6 (P6) - trecho densamente povoado com atividade comercial e industrial, situado na rua Jamil João Zarif, entre os números 689 e 701, no Bairro Santa Vicência, próximo ao aeroporto de Internacional de Guarulhos (Figura 2F).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Tabela 1. Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) das estações amostrais ao longo da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada

Estações	Coordenadas		Altitude
	Latitude (S)	Longitude (O)	
P1	23°23'31,55"	46°29'48,22"	881
P2	23°23'56,94"	46°30'07,53"	779
P3	23°24'10,96"	46°30'31,27"	780
P4	23°24'29,48"	46°30'42,93"	775
P5	23°24'56,94"	46°30'09,87"	750
P6	23°25'32,23"	46°29'51,42"	738

Fonte: Dados próprios.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Figura 2. Estações amostrais designadas das análises ambientais integradas. A. P1; B. P2; C. P3; D. P4; E. P5; F. P6



Fonte: Autores



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra

Para avaliar o uso e ocupação da terra na BHCI, numa primeira etapa, foi obtido o mapa do uso da terra e feita a montagem de dados espaciais, que foi elaborado pela reunião de bases cartográficas digitais e pela imagem de satélite (Landsat 8), estruturado com ferramentas do aplicativo QGIS. Os parâmetros foram baseados na projeção UTM (fuso 23S), sobre Datum SIRGAS 2000. Para delimitação da área foi utilizado o método de demarcação das linhas de cumieira. Na interpretação das curvas de nível da base cartográfica da EMLASA na escala 1:10.000, para o tamanho mínimo do polígono foi seguido o critério segundo IBGE (2023) de 50 x 50 m² (5 x 5 mm²).

Na composição do mapa do uso da terra foram adotadas técnicas de aspecto qualitativo à fotointerpretação e reconhecimento dos padrões homogêneos da cobertura terrestre, como tonalidade, textura, tamanho, seguido por visitas técnicas à região.

Variáveis ambientais

Poluentes atmosféricos, dados climáticos e populacional

Neste estudo, os dados secundários foram obtidos de fontes confiáveis e reconhecidas pela qualidade das informações (Google Earth Engine, 2024; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024; Worldpop, 2020). Os dados de poluentes atmosféricos, como dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio (O₃), foram adquiridos a partir de imagens do satélite *Sentinel 5p* e os valores médios foram calculados para uma semana anterior à coleta (Tabela 1). Informações sobre elevação do terreno foram obtidas do banco de dados *SRTM Digital Elevation Data* (CGIAR/SRTM90_V4), enquanto os dados de precipitação acumulada foram derivados da coleção *CHIRPS Daily. Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data* (Version 2.0 Final), considerando a soma do volume pluviométrico registrado no mês anterior à coleta em campo. Já a temperatura da superfície terrestre (*Land Surface Temperature*, LST) foi extraída do produto MOD11A1.061 Terra *Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global* 1km, e os valores médios foram calculados para o período de uma semana anterior à coleta. Esses conjuntos de dados, incluindo poluentes, elevação, precipitação e LST, foram processados na plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

A densidade populacional foi estimada com base nos dados da plataforma WorldPop (*Unconstrained Individual Countries 2020 UN adjusted – 1km resolution*), enquanto os índices de vegetação (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) e água (NDWI – *Normalized Difference Water Index*) foram derivados de imagens do satélite CBERS 4a, com resolução de 8m, no período mais próximo da data da coleta, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o NDVI, os valores foram calculados utilizando a equação:

$$(1) NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Onde NIR representa a reflectância no infravermelho próximo e RED, a reflectância no vermelho.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

O NDWI foi calculado pela equação:

$$(2) NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

Sendo que GREEN é a reflectância no espectro do verde e NIR, a reflectância no infravermelho próximo.

Os pontos de coleta foram registrados por meio de GPS, e os valores de cada parâmetro foram processados no *software* QGIS 3.28. Para cada ponto, foi criado um *buffer* de 100 metros de raio e os valores médios dos *pixels* de cada variável foram extraídos utilizando a ferramenta *Zonal Statistics*.

Tabela 2. Lista das variáveis secundárias utilizadas neste estudo, com suas respectivas siglas e fontes de aquisição

Variável	Sigla	Fonte
Elevação (m)	ELEV	SRTM Digital Elevation Data, GEE: (CGIAR/SRTM90_V4)
Precipitação (mm)	PREP	CHIRPS Daily (UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY)
Temperatura da superfície terrestre (°C)	LST	Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km, GEE: (MODIS/061/MOD11A1)
Dióxido de nitrogênio (µmol.m ⁻²)	NO2	Sentinel 5p, GEE: (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2)
Ozônio (mmol.m ⁻²)	O3	Sentinel 5p, GEE: (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_O3)
Dióxido de enxofre (mmol.m ⁻²)	SO2	Sentinel 5p, GEE: (COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_SO2)
NDVI	NDVI	CBERS4a (http://www.dgi.inpe.br)
NDWI	NDWI	CBERS4a (http://www.dgi.inpe.br)
Densidade populacional (indivíduos/km ²)	POP	Worldpop 2020 (https://hub.worldpop.org/)

Análise da água

Amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água, com auxílio de balde de aço inox preso a uma corda. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em frascos próprios e transportadas para o Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade de Guarulhos seguindo os procedimentos do Guia de Coleta e Preservação de Amostras, disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2024).

In situ foram analisadas: temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), condutividade elétrica (µS cm⁻¹), pH, sólidos totais suspensos (mg L⁻¹) e turbidez (NTU) (Sonda multiparâmetro da Marca Horiba - Modelo U50). No laboratório foram realizadas as análises da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mg L⁻¹), fósforo total (PT) (µg L⁻¹) e *Escherichia coli* (*E. coli*) (UFC 100mL). A demanda



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

bioquímica foi analisada via método manométrico (VELP CIENTÍFICA, 2016), o fósforo total foi analisado de acordo com Valderrama (1981) e a *Escherichia coli* seguiu a metodologia descrita em APHA (2012).

Análise estatística

Os resultados das variáveis ambientais foram analisados por meio da estatística descritiva, utilizando a média aritmética como medida de tendência central e desvio padrão como medida de grau de dispersão absoluta dos dados.

Os dados foram analisados com a finalidade de identificar variações entre os locais de amostragem. Primeiramente, a correlação de Pearson foi calculada para explorar as relações entre as 18 variáveis, utilizando o pacote *corr* em R. Em seguida, a análise fatorial, com extração de componentes principais, foi realizada no *software Statistica 12* para reduzir a dimensionalidade dos dados e destacar padrões subjacentes. Os escores fatoriais extraídos foram avaliados por ANOVA, complementada pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$) para comparações múltiplas. A normalidade e a homocedasticidade dos dados foram verificadas pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Bartlett*, considerando $p > 0,05$ como critério. Essas análises foram realizadas no *software JAMOV 2.3*.

Para investigar padrões de agrupamento, aplicou-se a análise de cluster hierárquico, utilizando distância Euclidiana e o método de ligação média (*average linkage*). Os resultados, gerados no *software Orange 3.36*, foram representados em um *heatmap*, evidenciando simultaneamente os agrupamentos entre variáveis e locais de amostragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapeamento do uso e ocupação da terra

O mapa de uso e ocupação da terra (Figura 3) revela que a região sul se destaca pela sua extensa área urbanizada, representando 56,2% do total (Tabela 3), onde estão localizadas as estações P5 e P6. Em contraste, a região ao norte, mais preservada, é caracterizada por formações florestais que correspondem a 37% da área total, abrigando as estações P1 e P2. A estação P3 está localizada próxima ao centro da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha-Invernada, caracterizando-se como uma área de transição entre a floresta e a zona urbanizada, com pastagens em seu entorno. A estação P4, por sua vez, está situada em uma avenida de tráfego intenso, mas possui cobertura vegetal composta por arbustos e árvores de porte médio no entorno da microbacia.

A transição de zona rural para urbana parece ser uma característica da região e acompanha a plena expansão urbana do município de Guarulhos. Quando comparados com os resultados do estudo de Oliveira *et al.*, (2018), os dados atuais mostram redução de áreas florestadas em 3%. Por outro lado, verificou-se aumento de aproximadamente 17% da área urbanizada, sendo a classe de cobertura da terra mais representativa para a BHCI.

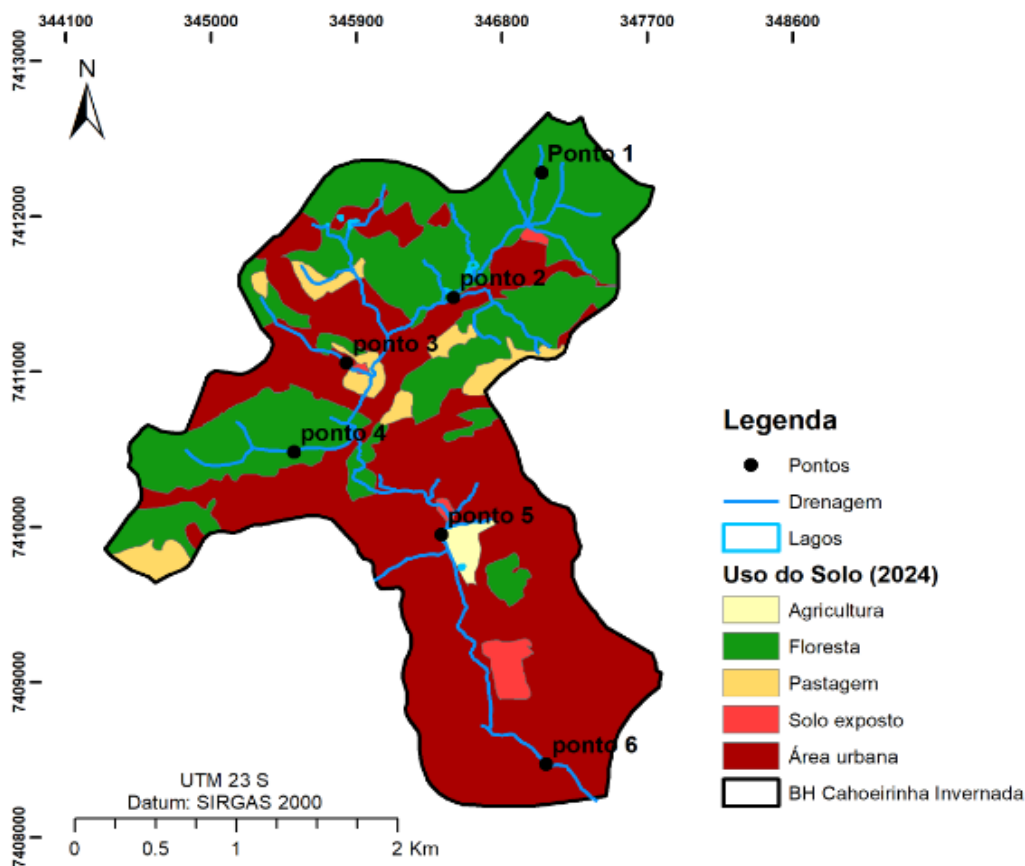


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

O planejamento territorial, ou a falta dele, parece interferir diretamente no uso e ocupação da terra da BHCI. As alterações das características das classes de cobertura da terra, com a diminuição das áreas florestadas, estão relacionados a diferentes fatores de degradação, como a presença do maior aeroporto da América do Sul (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro), atividade industriais e de serviços, como os galpões logísticos e o desenvolvimento imobiliário, impulsionado principalmente por obras significativas no entorno do bacia, como a instalação do trecho norte do Rodoanel Mario Covas (Mesquita, 2011; Oliveira *et al.*, 2018; Vargas *et al.*, 2019). A obra para a instalação do rodoanel está em fase final de construção e corta o trecho norte da bacia (área com maior cobertura florestal).

Figura 3. Mapa de uso do solo da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada, (BCHI) local onde estão situados os pontos amostrais (P1 a P6)



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento UnG, 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Tabela 3. Uso e ocupação da terra em quilômetros quadrados (km²) e em porcentagem (%)

Uso de Solo	Área (km ²)	Área (%)
Agricultura	0.07	0.9
Área urbana	4.23	56.2
Floresta	2.79	37.0
Pastagem	0.32	4.3
Solo exposto	0.11	1.5

Fonte: Laboratório de Geoprocessamento UnG, 2024

Análise integrada das variáveis ambientais

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios e desvio padrão das variáveis ambientais em seis estações amostrais localizadas ao longo da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada, ao longo do período de estudo.

Tabela 4. Valor médio (\bar{x}) e desvio padrão (DP) das variáveis ambientais ao longo da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada – Guarulhos/SP, entre abril e outubro de 2024 (n=4).
Abreviações: OD = oxigênio dissolvido; Cond = Condutividade elétrica; Tur = Turbidez; STD = Sólidos totais dissolvidos; DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio; PT = Fósforo total; *E. coli* = *Escherichia coli*. Demais abreviações e unidades de medida, ver Tabela 1

	P1		P2		P3		P4		P5		P6	
	\bar{x}	DP	\bar{x}	DP	\bar{x}	DP	\bar{x}	DP	\bar{x}	DP	\bar{x}	DP
ELEV	875.1	-	786.8	-	779.8	-	777.6	-	752.8	-	739.2	-
PREP	65.6	74.7	63.3	71.3	63.2	74.8	63.2	74.8	63.2	74.8	63.3	74.8
LST	23.1	2.9	23.7	3.3	25.2	3.2	25.2	3.2	26.6	3.3	27.2	3.4
NO2	86.4	23.7	92.2	24.3	102.8	29.8	102.8	29.8	115.1	41.7	130.6	38.0
O3	117.9	6.9	118.0	6.9	117.8	6.9	117.8	6.9	117.8	7.0	117.7	7.1
SO2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.4
NDVI	0.56	0.02	0.39	0.05	0.29	0.02	0.47	0.05	0.13	0.01	0.16	0.03
NDWI	-0.46	0.02	-0.33	0.03	-0.29	0.01	-0.39	0.04	-0.18	0.01	-0.17	0.02
POP	23.4	-	78.4	-	2133.7	-	8015.4	-	13468.7	-	11905.0	-
OD	10.1	0.6	9.6	2.2	4.4	3.2	4.8	1.2	2.7	0.6	2.3	0.6
pH	7.0	0.8	6.9	0.4	6.9	0.3	7.1	0.5	7.2	0.4	7.1	0.4
COND	65.0	14.9	156.5	22.6	414.8	13.8	308.5	44.4	407.3	40.4	514.0	44.0
TEMP	18.4	2.2	19.8	3.0	22.1	2.3	19.7	2.4	21.8	2.3	23.6	2.1
TUR	7.5	4.8	7.5	12.3	53.8	7.8	9.7	1.2	35.0	2.9	57.4	11.0
STD	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
DBO	0.0	0.0	5.3	6.2	75.4	3.3	17.8	11.5	72.7	12.4	79.5	4.8
PT	8.5	5.9	4.0	3.4	539.4	44.1	123.2	13.5	504.7	47.7	624.1	75.4
E_COLI	8,1*	2,1	27,9*	32,8	22,45*	14,21	68,4*	81,7	26,25**	65,00	57,63	21,36

* *E. coli* = UFC/100 * 10³, ** *E. coli* = UFC/100 * 10⁶

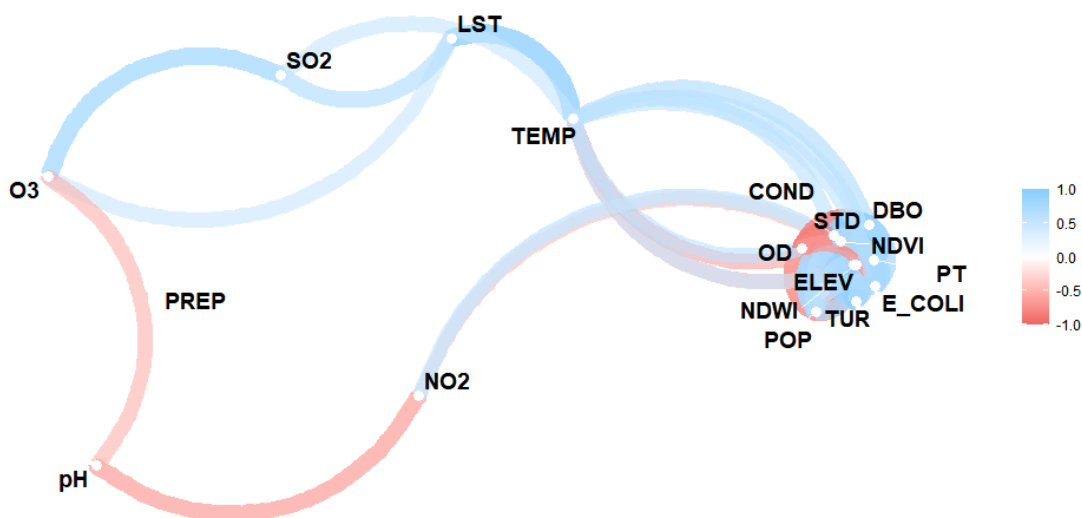


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

As variáveis ambientais analisadas apresentaram variações entre os locais de amostragem (Tabela 4). Para analisar de forma integrada as 18 variáveis estudadas, foram aplicadas a correlação de Pearson e a análise fatorial, visando reduzir o número de variáveis e facilitar dimensionalidade da análise, facilitando a compreensão e a interpretação das variações espaciais. A variância total explicada pelos três fatores da análise fatorial foi superior a 80%. A matriz de correlação de Pearson e as cargas fatoriais da análise fatorial apresentaram resultados similares, onde as variáveis relacionadas à água (DBO, PT, *E. coli*, OD, COND, PT, STD e TUR) se correlacionaram fortemente com as variáveis NDVI, ELEV, POP, NDWI. Todas estas variáveis apresentaram cargas fatoriais acima de 0.70 (ou abaixo de -0.70) e estão associadas ao Factor 1. As variáveis NO₂, pH, O₃ e PREP estão negativamente correlacionadas entre si e suas cargas fatoriais estão mais associadas ao Factor 2. As variáveis TEMP, LST e SO₂ apresentaram cargas fatoriais acima de 0.70 e estão associadas ao Factor 3 (Figura 4 e 5).

Figura 4. Rede de correlações baseada na matriz de correlações de Pearson, destacando apenas coeficientes superiores a 50%. Conexões azuis indicam correlações positivas, enquanto conexões vermelhas representam correlações negativas



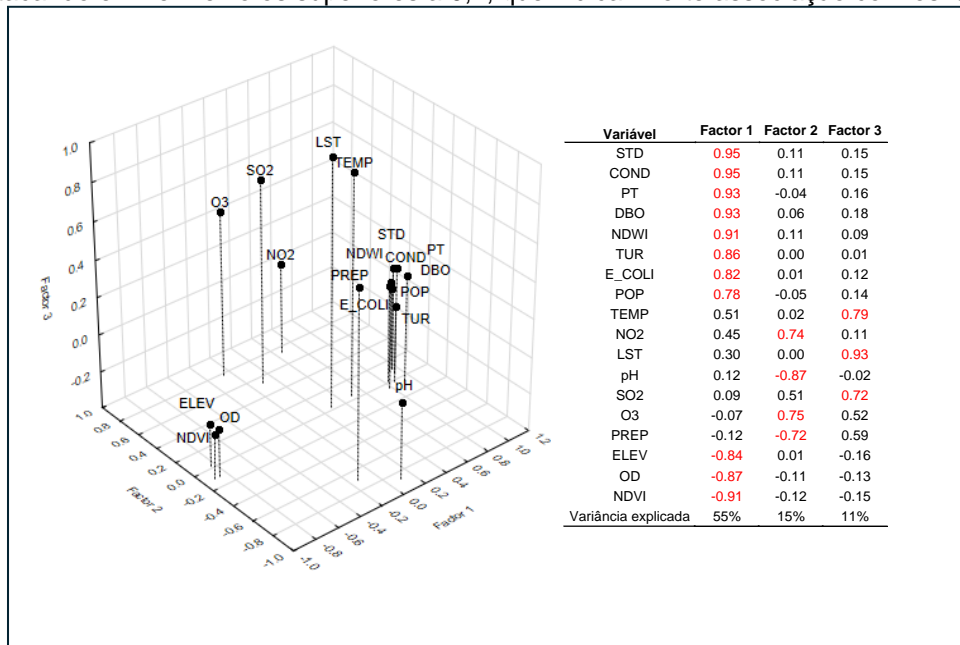
Os escores da análise fatorial foram utilizados em uma análise de variância (ANOVA) para comparar os locais de amostragem, seguida pelo teste de comparações múltiplas de *Tukey*. Os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade foram avaliados pelos testes de Shapiro-Wilk e *Bartlett*, respectivamente, considerando significância para $p > 0,05$. Apenas o Fator 1, representando as variáveis STD, COND, PT, DBO, NDWI, TUR, *E. coli*, POP, ELEV, OD e NDVI, apresentou diferenças significativas entre os locais de amostragem (Figura 5).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

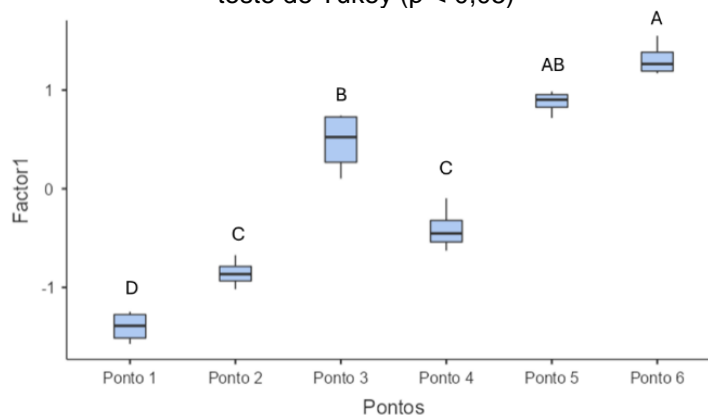
ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

Figura 5. Gráfico tridimensional das cargas fatoriais da análise fatorial, com os eixos representando os fatores: X (Factor 1), Y (Factor 2) e Z (Factor 3). À direita, uma tabela exibe os valores das cargas, destacando em vermelho os superiores a 0,7, que indicam forte associação com os fatores



Os valores positivos das cargas fatoriais para as variáveis STD, COND, PT, DBO, NDWI, TUR, *E. coli* e POP (Factor 1) indicam, com base na ANOVA e no teste *post-hoc*, que o ponto 6 apresentou os maiores valores para esse conjunto de variáveis, seguido pelos pontos 5, 3, 4, 2 e 1, respectivamente. Em contrapartida, as variáveis ELEV, OD e NDVI, que possuem cargas fatoriais negativas no Factor 1, apresentam uma interpretação inversa na análise da ANOVA (Figura 6).

Figura 6. Box-plot dos escores do Factor 1 com as diferenças entre os pontos de amostragem. As letras indicam diferenças significativas entre os locais, conforme calculado pela ANOVA seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$)



A análise de *cluster* foi realizada por meio de *hierarchical clustering*, utilizando distâncias Euclidianas como métrica de similaridade e o método de ligação média (*average linkage*). Os



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

resultados foram representados em um *heatmap*, evidenciando os agrupamentos simultâneos das variáveis e das amostras (Figura 7). O *heatmap* evidencia as variações nos valores dos parâmetros analisados e suas associações com os locais de amostragem. A análise de cluster revelou dois grandes grupos espaciais: o Grupo 1 (G1), à direita, que inclui as estações P1, P2 e P4, associadas às variáveis OD, ELEV e NDVI, indicadoras de áreas com maior cobertura vegetal e menor grau de urbanização. Em contraste, o Grupo 2 (G2), formado pelas estações P3, P5 e P6, estão relacionados a parâmetros típicos de áreas urbanizadas, como *E. coli*, turbidez, sólidos totais e DBO.

Os resultados do presente estudo evidenciam a transformação da ocupação da terra em que a Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada está submetida e ressaltam a importância de considerar a bacia hidrográfica como unidade de estudo. O transecto longitudinal, cabeceira-foz, se mostrou importante variável voltada a preservação dos recursos hídricos. Ao Norte, trecho com maior elevação (cabeceiras do riacho Invernada), foi caracterizado por regiões com menor densidade populacional e melhores condições ambientais, como maior cobertura vegetal e rios mais preservados com maiores concentrações de oxigênio dissolvido. O oxigênio dissolvido é um indicador primário da qualidade da água, sendo que valores acima de 5,0 mg L⁻¹, como observado nas estações P1 e P2, representam teores considerados satisfatórios a preservação da vida aquática, como estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). Para Vargas *et al.* (2019) a boa qualidade da água observada nos cursos d'água desta região está relacionada à presença de áreas florestadas, áreas de pastagem/campos e à silvicultura.

Por outro lado, o trecho sul, estações P5 e P6, apresenta elevado grau de urbanização e como consequência piores condições ambientais, como menor cobertura vegetal e rios com maiores concentrações de fósforo total, sólidos totais dissolvidos, turbidez, além de maiores valores de *E. coli*. A presença destas variáveis indica a contaminação causada, principalmente, pelo lançamento de esgotos domésticos (CETESB, 2021, ANA, 2024).

Entre estas variáveis analisadas, face destaque às concentrações de *E. coli* que se mantiveram elevadas, ultrapassando os níveis permitidos pela DD 112/2013 de 600 UFC/100mL (CETESB, 2013) em todas as estações. Sendo os maiores valores registrados nas estações P5 e P6, com concentrações médias de 26 e 58 x 10⁶ UFC/100ml, respectivamente. Estes resultados enfatizam a relação do uso e ocupação da terra com as variáveis ambientais, isto porque a *E. coli* é considerado o principal bioindicador de origem fecal presente na água (Barbora *et al.*, 2009), pois embora faça parte da microbiota intestinal de seres humanos e animais homeotérmicos (fato que relaciona a presença desta bactéria em áreas mais preservadas), podem ser responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tal como meningite; infecções intestinais; sangue nas fezes; enjoos; vômitos; febre; entre outros (Nataro, 1998; Frias *et al.*, 2020, ANA, 2024).

Os poluentes atmosféricos SO₂, NO₂ e O₃ formaram um agrupamento distinto, sugerindo possível correlação em suas fontes de emissão ou dinâmica ambiental (Figura 7). Embora não tenham apresentado diferenças significativas entre os locais de coleta, a variabilidade temporal pode ter sido



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

um fator determinante para explicar flutuações nos níveis observados. Ainda assim, as médias obtidas e a análise de cluster indicaram uma tendência para concentrações mais elevadas desses poluentes nos pontos 3, 5 e 6, com destaque para os valores máximos de NO₂ registrados no P6 e P5 (170 e 165 mmol·m⁻², respectivamente).

O dióxido de nitrogênio é um poluente atmosférico amplamente disseminado e reconhecido como precursor do ozônio troposférico e do material particulado fino, ambos associados à mortalidade relacionada à poluição do ar (Anenberg *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2021). Suas principais fontes antropogênicas incluem emissões veiculares, usinas de energia, atividades industriais e agrícolas (Nakazato *et al.*, 2015; Pugh *et al.*, 2012). Áreas próximas a aeroportos, como Guarulhos, tendem a apresentar altos níveis de poluição devido ao intenso tráfego aéreo combinado com a movimentação significativa de veículos terrestres, como carros e caminhões (Fajersztajn *et al.*, 2019). Além disso, o NO₂ é um marcador confiável da combustão de combustíveis fósseis, especialmente em áreas urbanas, sendo frequentemente utilizado para monitorar a eficácia de regulamentações ambientais e os efeitos de mudanças abruptas nas emissões, como as provocadas por lockdowns ou pelo fechamento de usinas (Anenberg *et al.*, 2022; Nakazato *et al.*, 2015; Zoran *et al.*, 2020). A correlação de Pearson indicou que o NO₂ se correlacionou positivamente com as variáveis associadas às áreas urbanas como o POP, COND, TEMP, STD, DBO e *E. coli* e negativamente com as variáveis relacionadas às áreas menos urbanizadas como NDVI e OD (Figura 4). Em relação às variáveis climáticas, o NO₂ mostrou correlação negativa com a precipitação (PREP), enquanto os poluentes O₃ e SO₂ apresentaram correlações positivas com a temperatura da superfície terrestre (LST). Esses dados reforçam a relevância do monitoramento em áreas urbanas, onde as fontes de emissão são mais intensas. Além disso, as condições climáticas e o menor índice de cobertura vegetal nessas regiões podem intensificar as concentrações de NO₂ (Grundström; Pleijel, 2014; Pugh *et al.*, 2012). No entanto, é crucial também considerar as variações temporais, dado que as concentrações de poluentes atmosféricos podem estar diretamente associadas à sazonalidade climática (Terwayet Bayouli *et al.*, 2021). Alterações em variáveis como precipitação e temperatura não apenas influenciam os padrões de dispersão e acúmulo de poluentes, mas também podem modificar processos químicos e físicos que afetam a qualidade do ar.

O município de Guarulhos, assim como ocorre em outras grandes metrópoles do Brasil, não foi capaz de planejar o processo de urbanização e oferecer infraestrutura urbana em condições adequadas para a grande população que o habita. Estudos anteriormente realizados na Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada por Oliveira *et al.*, (2017), Vargas *et al.*, (2019) e Dias *et al.* (2020), atestam a baixa qualidade ambiental de suas regiões urbanas e enfatizam a importância da manutenção de áreas vegetadas e a preservação de seus rios e de áreas localizadas em topo dos morros, com declividade acentuada e as margens de córregos e nascentes. Corroborando a estes resultados, a análise integrada utilizada no presente estudo foi uma ferramenta sensível e robusta que demonstrou a intensa transformação da ocupação do solo decorrente, principalmente da implantação

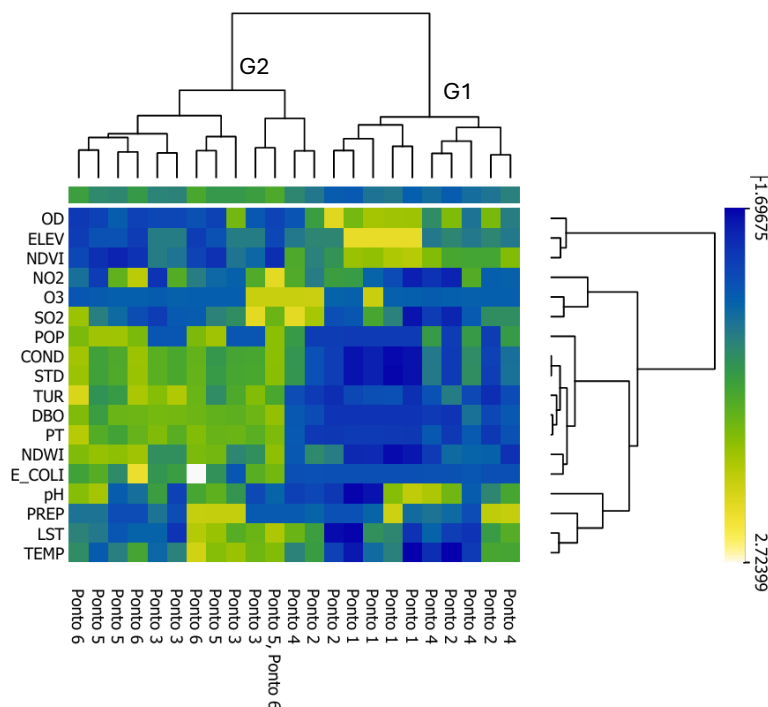


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

do trecho norte do Rodoanel Mário Covas e da abertura de novos bairros, caracterizados pela população de baixa renda e deficiente de infraestrutura urbana e de como este uso da terra refletiu nas condições ambientais de poluição atmosférica e da qualidade da água dos cursos d'água.

Figura 7. Análise de *cluster* indicando agrupamentos entre as variáveis (vertical) e os pontos de amostragem (horizontal)



CONSIDERAÇÕES

O estudo sobre a qualidade ambiental da Bacia Cachoeirinha Invernada mostrou que a abordagem integrada, utilizando sensoriamento remoto e análise de qualidade da água, vegetação e poluentes atmosféricos, foi eficaz na avaliação da bacia como unidade de estudo. Os resultados destacaram os diferentes usos da terra na bacia e a importância de considerá-los como uma ferramenta para diagnóstico ambiental. As áreas de cabeceira, com menor densidade populacional e maior cobertura vegetal, apresentaram melhores condições ambientais, enquanto as regiões a jusante, mais urbanizadas, mostraram degradação crescente, com um aumento de indicadores de contaminação ambiental como a *E. coli*. A vegetação presente em uma das áreas urbanizadas ajudou a atenuar os impactos da poluição, contribuindo para melhores condições de qualidade da água. O estudo destaca que a preservação das áreas vegetadas é essencial para proteger os recursos hídricos e garantir a saúde ambiental da bacia. Também aponta que a ocupação das áreas, sem planejamento adequado, contribui significativamente para a degradação ambiental, resultando em impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para os moradores dessas regiões.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

REFERÊNCIAS

AMANDA ROSA, H.; FARIA FILHO, R. Influência da vegetação na temperatura da superfície em áreas urbanas por meio de imagens do satélite Landsat 8. **Engineering and Science** v. 12, n. 2, p. 1–18, 2023. DOI: 10.18607/ES20231215245. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15245>. Acesso em: 4 dez. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da Qualidade das Águas**. [S. l.]: ANA, 2024. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br>. Acesso em: 18 fev. 2024

ANDRADE, M. R. M.; OLIVEIRA, A. M. S. Expansão Urbana e Problemas Geoambientais do Uso do Solo em Guarulhos. In: OMAR, E. E. H. (ed.). **Guarulhos tem História**. São Paulo: Ananda Gráfica e Editora, 2008. p. 47-58.

ANENBERG, S. C. *et al.* Long-term trends in urban NO₂ concentrations and associated paediatric asthma incidence: estimates from global datasets. **The Lancet Planetary Health**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. e49–e58, 2022.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. [S. l.]: APHA, 2012. v. 22,

ARAÚJO Jr., A.C.R. Paisagem antropogenética e a dinâmica do meio físico na porção sul da cidade de Belém-PA. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 7, n. 2, p.71-96, 2013.

BARBOSA, D. B.; LAGE, M. M.; BADARÓ, A. C. L. Qualidade microbiológica da água dos bebedouros de um Campus universitário de Ipatinga, Minas Gerais. **NUTRIR GERAIS: Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 3, n. 5, p. 505-517, 2009.

BRASIL. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 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. Publicado DOU nº 53 de 18 de março de 2005, pág. 58-63. Brasília DF, 2005.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice D – Índices de qualidade das águas**. São Paulo: Cetesb, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 14 maio 2024.

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. Decisão de Diretoria da CETESB nº. 112/2013/E. Dispõe sobre o estabelecimento dos valores limites do parâmetro *Escherichia coli* (*E. coli*), para avaliação da qualidade dos corpos de águas do território do Estado de São Paulo, 2013.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas**. 2. ed. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2023.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade da água**. São Paulo: Cetesb, 2021. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>.

CODO, F. *et al.* Urban environmental quality index applied to the Popuca-Botinhas and Pedrinhas watersheds in the municipality of Guarulhos – SP. **Environmental Forum of Alta Paulista**, [s. l.], v. 20, p. 102-118, 2024.

DIAS, J. R.; SAAD, A. R.; DALMAS, F. B. APLICAÇÃO DA LEI Nº 12.651/2012 NA ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

CACHOEIRINHA INVERNADA, GUARULHOS (SP). **Revista Direitos Culturais**, v. 15, n. 36, p. 193-207, 2020.

FAJERSZTAJN, L. *et al.* Health effects of pollution on the residential population near a Brazilian airport: A perspective based on literature review. **Journal of Transport & Health**, [s. l.], v. 14, p. 100565, 2019.

FRIAS, D. F. R.; PINHEIRO, R. S. B.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BUOSI, A. L. B. Variação espaço-temporal da concentração de *Escherichia coli* em águas superficiais e a saúde pública. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 60, p.77-86, 2020. <https://doi.org/10.17271/2318847286020202422>

GOOGLE EARTH ENGINE. **Google Earth Engine**: A planetary-scale platform for environmental data analysis. [S. l.]: Google LLC, 2024. Disponível em: <https://earthengine.google.com>. Acesso em: 27 nov. 2024.

GRUNDSTRÖM, M.; PLEIJEL, H. Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 189, p. 73–76, 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; PNAD - PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS. **Contínua**: Segurança Alimentar 2023. Recuperado de <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39838-seguranca-alimentar-nos-domicilios-brasileiros-volta-a-crescer-em-2023>. Acesso em: 04 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Imagens de satélite CBERS-4A**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo>. Acesso em: 27 nov. 2024.

IPIRANGA, Ana Silva Rocha; LOURENÇO, R. W. *et al.* Reflexos ambientais do desenvolvimento e expansão das atividades humanas sobre a qualidade da água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, p. 175-198, 2022.

MESQUITA, Marisa Viana. **Degradação do meio físico em loteamentos nos bairros Invernada, Fortaleza e Água Azul, com estudos de caso da expansão urbana do Município de Guarulhos (SP)**. 2011. 145f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

NAKAZATO, R. K.; RINALDI, M. C. S.; DOMINGOS, M. Will technological modernization for power generation at an oil refinery diminish the risks from air pollution to the Atlantic Rainforest in Cubatão, SE Brazil?. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 196, p. 489–496, 2015.

NATARO, James P.; KAPER, James B. Diarrheagenic *Escherichia coli*. **Clinical microbiology reviews**, v. 11, n. 1, p. 142-201, 1998.

OLIVEIRA, D. G.; VARGAS R. R.; SAAD, A. R.; ARRUDA, R. O. M.; DALMAS, F. B.; AZEVEDO, F. D. A. Land use and its impact on the water quality of the Cachoeirinha Invernada Watershed, Guarulhos (SP). **Revista Ambiente & Água**, v. 13, p. e2131, 2018.

OLIVEIRA, Dhisney Gonçalves de. **Uso da terra na bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada e seus reflexos na Qualidade das Águas do Córrego Cachoeirinha Invernada Guarulhos (SP)**. [S. l.]: s. n.], 2017. Disponível em PDF em: <http://tede.ung.br/bitstream/123456789/677/1/DHISNEY+GON%EF%BF%BD%EF%BF%BDALVES+DE+OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2024

PANAGOS, P. *et al.* A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1365, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/9/1365>. Acesso em: 10 mar. 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA, UMA FERRAMENTA VOLTADA AO MONITORAMENTO E GESTÃO DE ÁREAS URBANAS: ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA CACHOEIRINHA INVERNADA-GUARULHOS/SP
Otair Pelisson, João Alexandre Saviolo Osti, Fabrício Bau Dalmas, Luís Henrique Nunes de Souza, Marisa Vianna Mesquita, Renata Cristina Araújo Costa, Ricardo Keiichi Nakazato, Marcio Magera Conceição, Patricia Bulbovas-Hueb

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de Cenário de Uso do Solo sobre o Regime Hídrico e Produção de sedimentos na Bacia do Ribeirão Concordia – SC. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, 2013.

PUGH, T. A. M. *et al.* Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 46, n. 14, p. 7692–7699, 2012.

ROSA, A. D. S.; OLIVEIRA, A. M. D. S.; SAAD, A. expansão urbana e o IQA como ferramentas de avaliações e análises da evolução da qualidade das águas do rio Cotia, região metropolitana de São Paulo, Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 114-123, 2014

SOUZA, B. B.; OLIVEIRA, S. S.; BULBOVAS, P. Sintomas foliares visíveis induzidos por ozônio em vegetação urbana do município de Guarulhos, SP. **Revista Principia**, v. 56, p. 11-21, 2021.

TERWAYET BAYOULI, I. *et al.* Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 125, p. 107508, 2021.

VALDERRAMA, Jorge C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine chemistry**, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1981.

VARGAS, R. R.; SAAD, A. R.; DALMAS, F. B.; Arruda, R. O. M.; Ferreira, A. T. S. Assessment of the environmental quality of the Cachoeirinha-Invernada watershed, Guarulhos municipality (State of São Paulo, Brazil), as an urbanization reflex. **Pesquisas Em Geociências** (Online), v. 46, p. e0802, 2019.

VELP CIENTIFICA. **BOD Analysis**. [S. l.]: Velp Cientifica, 2016. Disponível em: http://www.velp.com/en/products/lines/2/family/31/bod_analysis. Acesso em: 14 abr. 2016.

WANG, M. *et al.* Short-term exposure to nitrogen dioxide and mortality: A systematic review and meta-analysis. **Environmental Research**, [s. l.], v. 202, p. 111766, 2021.

WORLDPOP. **Unconstrained individual countries 2020 UN adjusted population counts, 1km resolution**. [S. l.]: University of Southampton, 2024. Disponível em: <https://www.hub.worldpop.org>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ZORAN, M. A. *et al.* Assessing the relationship between ground levels of ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) with coronavirus (COVID-19) in Milan, Italy. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 740, p. 140005, 2020.