

Artigo

Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água em uma microbacia do Rio Paranaíba, Goiás.

Influence of land use and land cover on water quality in a watershed of the Paranaíba river,

Euripedes Fernandes Costa Junior^{1*}, Daniele Ferreira da Silva², Calina Grazielle Dias Barros³, Ana Lucia Denardin da Rosa⁴, Rodrigo Martins Moreira⁵

¹ Universidade Federal de Rondônia / Engenharia Ambiental e Sanitária — ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8803-3891> - euripedesfernandes13@gmail.com;

² Universidade Federal de Rondônia, Engenharia Ambiental e Sanitária – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1095-0566>;

³ Universidade Federal de Rondônia, Física – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7073-4710>;

⁴ Universidade Federal de Rondônia / Departamento de Engenharia Ambiental - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0470-5115>;

⁵ Universidade Federal de Rondônia / Departamento de Engenharia Ambiental - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6794-6026>.

* Correspondência: tiagosant2018@gmail.com

Citação: Costa Junior, E. F.; Silva, D. F. da; Barros, C. G. D.; Rosa, A. L. D. da; Moreira, R. M. Intoxicação por metais pesados na região Norte do Brasil. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água em uma microbacia do Rio Paranaíba, Goiás. *RBCA* 2024, 13, 3. p.77-87.

Editor de Seção: Dra. Karen Janones da Rocha
Recebido: 11/07/2024
Aceito: 15/08/2024
Publicado: 02/09/2024

Nota do editor: A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e afilições institucionais.



Copyright: © 2024 pelos autores. Enviado para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The processes of unregulated land use and land cover are associated with various impacts on the environment. One of these impacts is on surface water quality. This study aims to analyze the correlation between land use and occupation parameters and water quality in a micro-basin in São Simão, Goiás, Brazil. The water quality data was obtained from the ANA's Hidroweb platform. The seasons (60877200) for the years 1997, 2000 to 2003, 2005, 2007 to 2010, 2018 and 2019 were evaluated using Multivariable Analysis, using the principal components technique (PCA), using the statistical programme PAST 4.01. For the delimitation of the watershed, the altitude data from the TOPODATA project was used, using the Qgis 3.16 software for the delimitation of the watershed; and the land use and occupation data was class 5, from the MapBiomas project. A change in land use and occupation was observed in the study area, as pasture areas underwent an intense transformation process, giving way to areas destined for sugar cane plantations. The advance of agricultural areas in the region increased the concentration of nutrients such as phosphorus (0.32 mg.L⁻¹) and ammoniacal nitrogen (36.5 mg.L⁻¹) in 2018, showing that the oxidation of these organic compounds has caused a reduction in DO in the water body (2 mg.L⁻¹), which indicates that this waste derived from the sugarcane processing process in fertigation is discharged in natura. The PCA analysis made it possible to verify the correlation between the variables studied, grouping quality indicators with land use and occupation, highlighting that land use and occupation have a direct influence on the quality of the water body. It was thus possible to observe that the variables studied are influenced by the advance of sugar cane, sugar cane and maize, with the development of the urban center in the microbasin.

Keywords: Multivariate Analysis; Agricultural Production; Watershed.

Resumo: Os processos de uso e ocupação do solo de forma desordenada estão relacionados com diversos impactos causados ao meio ambiente. Um desses impactos se dá sobre a qualidade das águas superficiais. Este estudo busca analisar a correlação dos parâmetros do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água em uma microbacia do município de São Simão, Goiás. Os dados de

qualidade da água foram obtidos da plataforma Hidroweb, da ANA. A estação (60877200) dos anos 1997, 2000 a 2003, 2005, 2007 a 2010, 2018 e 2019 foram submetidos à avaliação por meio de Análise das Multivariáveis, admitindo a técnica dos componentes principais (PCA), por meio do programa estatístico PAST 4.01. Para a delimitação da bacia hidrográfica, foram utilizados os dados de altitude do projeto TOPODATA, utilizando o software Qgis 3.16 na delimitação da microbacia; e os dados de uso e ocupação do solo foram classe 5, do projeto MapBiomias. Observou-se uma mudança do uso e ocupação do solo na área de estudo, uma vez que as áreas de pastagem passaram por um intenso processo de transformação, dando lugar às áreas destinadas ao plantio de cana-de-açúcar. O avanço das áreas agrícolas na região aumentou a concentração de nutrientes, como o fósforo (0,32 mg.L-1) e o nitrogênio amoniacal (36,5 mg.L-1), no ano de 2018, evidenciando que a oxidação desses compostos orgânicos tem causado a redução de OD no corpo hídrico (2 mg.L-1), o que indica que esses resíduos derivados do processo de transformação da cana-de-açúcar na fertirrigação são lançados in natura. A análise de PCA permitiu verificar a correlação entre as variáveis estudadas, agrupando indicadores de qualidade com o uso e ocupação do solo, destacando que o uso e ocupação do solo têm influência direta na qualidade do corpo hídrico. Dessa forma, foi possível observar que as variáveis estudadas são influenciadas com o avanço da cana-de-açúcar, cana e milho, com o desenvolvimento do centro urbano na microbacia.

Palavras-chave: Análise Multivariada; Produção Agrícola; Bacia Hidrográfica

1. Introdução

Em muitos municípios brasileiros, o uso e a ocupação do solo se dão de forma desorganizada e sem planejamento adequado e, em muitas situações, com uso dos recursos naturais de forma irregular, podendo acarretar prejuízos ambientais, de saúde pública, sociais e econômicos, degradando a qualidade e a quantidade de recursos naturais, como água, solo e ar. No Brasil, isso é reflexo da forma como ocorreram muitas expansões urbanas e como se organizavam as atividades econômicas e agrícolas.

No que tange ao desenvolvimento agrícola no Brasil, este foi muito estimulado pelo Governo Federal, para um crescimento intensivo, desde o século do XVII, quando foram extintas as atividades exploratórias do Pau-Brasil e iniciaram a implantação da lavoura canavieira. Também no período de 1970 a 1980, tem-se um novo cenário agrícola brasileiro, com modelo baseado em crédito subsidiado, extensão rural e pesquisas agropecuárias.

Em estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2020, foi criado o Ranking – Agricultura – Valor da produção (2020) para o Brasil e os estados. Na Figura 1, pode ser observado o ranking dos produtos agropecuários com maior valor de produção no Brasil, com destaque para o estado de Goiás, onde o município de interesse do estudo está situado.

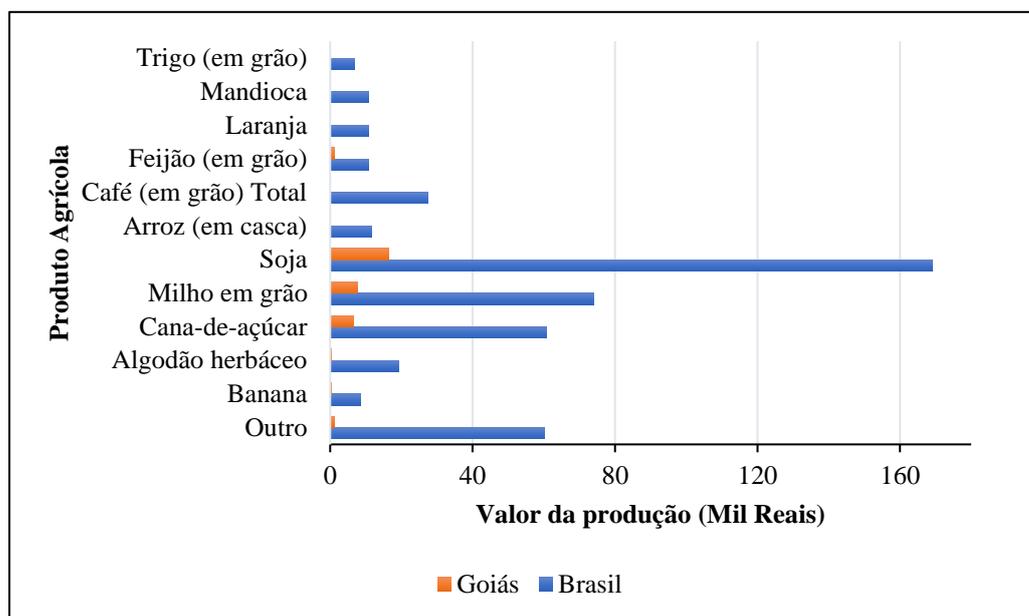


Figura 1. Ranking – Agricultura – Valor da produção (2020). Fonte: IBGE, 2020

Como pode ser observado, tanto no Brasil, como no estado de Goiás, as três principais produções agrícolas são soja, milho em grão e cana-de-açúcar. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Esalq/USP, em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o PIB do agronegócio brasileiro “alcançou recordes sucessivos em 2020 e em 2021, com esse biênio se caracterizando como um dos melhores da história do agronegócio nacional” (CEPEA, 2022).

No município de São Simão, localizado no interior do estado de Goiás, conforme dados fornecidos pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), no período de 1966 a 2006, existiam cinco indústrias extrativistas e 34 indústrias de transformação. Segundo o Portal da Indústria (s.d.), “indústria extrativa é aquela que extrai da natureza recursos e insumos sem alterar suas características”, com destaque para a exploração de minerais. Já a “indústria de transformação é um segmento de indústria que realiza a transformação de matéria-prima em um produto final ou intermediário que vai ser novamente modificado por outra indústria”.

A Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) separa as atividades da Indústria de Transformação em 24 grupos, de acordo com a atuação e mercadorias produzidas. Dentro desse grupo encontram-se as indústrias de alimentos, de bebidas e de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis. Dessa forma, observa-se que no município de São Simão há um maior quantitativo de indústrias de transformação.

Não é possível produzir alimentos, bebidas e biocombustíveis sem matéria-prima e, nesse caso, a região terá tanto impactos positivos quanto impactos negativos. No que diz respeito aos impactos positivos, é possível mencionar geração de empregos, renda para o pequeno produtor e redução de gases de efeito estufa; por outro lado, os impactos negativos podem ser perda da biodiversidade, poluição da água e do solo pelo uso de fertilizantes, adubos e agrotóxicos, queima de combustíveis pelo uso de máquinas e equipamentos dentro das lavouras (Cunha; Pasqualetto, 2021).

Segundo SINDIVEG (2020), atividades agrícolas de culturas como soja, milho em grãos, cana-de-açúcar e algodão representam 81% dos defensivos usados no Brasil. O estudo realizado por Pignati et al. (2017) indicou que as culturas que mais utilizam agrotóxicos no Brasil foram a soja (63%), seguida do milho (13%) e cana-de-açúcar (5%). Dessa forma, uma das maiores preocupações diz respeito aos impactos aos recursos

hídricos promovidos pelo cultivo da cana-de-açúcar, advindos do uso excessivo de adubos, corretivos e fertilizantes, o que pode contaminar as águas de superfície do solo.

Estudo de Lopes; Albuquerque (2018) mostra que o uso de agrotóxicos interfere no equilíbrio do ecossistema, conseqüentemente, na vida animal e humana, além disso, confere alterações na morfologia de alguns animais e vegetais que fazem parte da alimentação humana e, por essa razão, pode afetar negativamente a saúde.

Além disso, os efluentes gerados na indústria de transformação da cana-de-açúcar, do milho e da soja são caracterizados por elevadas concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) e, se não tratados de forma adequada, podem degradar o meio ambiente, gerando conseqüências negativas para a saúde pública e para a economia local, regional e nacional.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo verificar a relação do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água em uma microbacia localizada no município de São Simão, localizada no interior do estado de Goiás.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo consiste em uma microbacia localizada no Rio Paranaíba, que delimita os estados de Goiás e Minas Gerais. O clima da área de estudo apresenta uma característica de Aw, com uma temperatura média anual de 23 °C, com pluviosidade média de 1.450 mm, segundo a classificação climática Köppen-Geiger, adaptado por Alvares et al. (2013). A estação de estudo é situada no mesmo leito do corpo hídrico localizado entre os municípios de São Simão-GO e de Santa Vitória-MG, conforme a Figura 2.

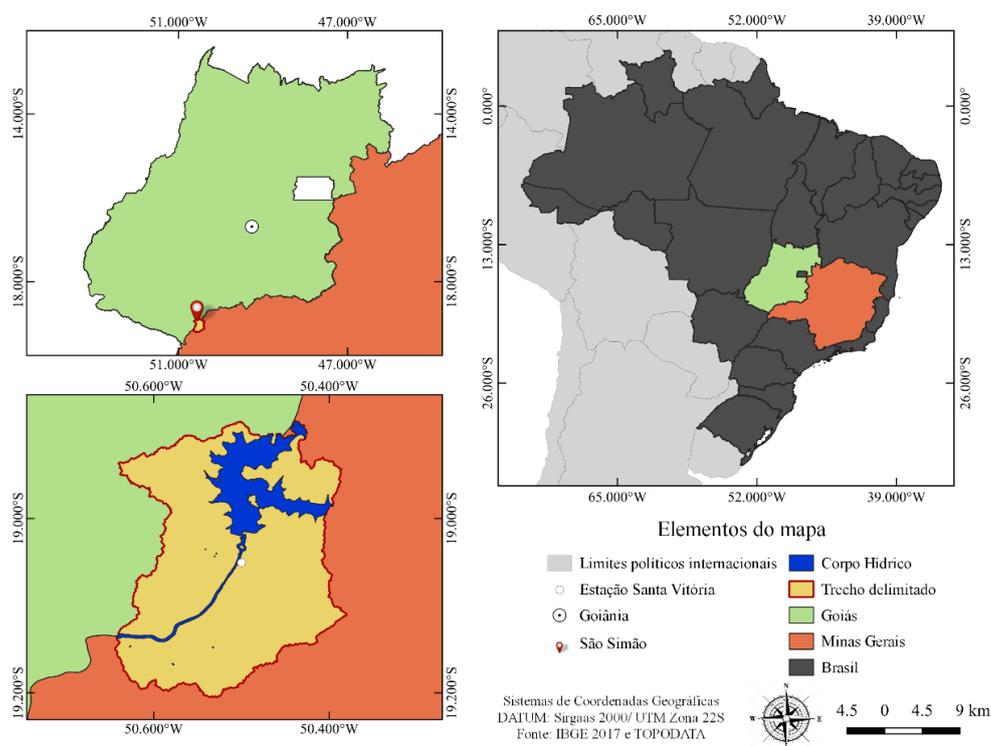


Figura 2. Localização da estação e da microbacia do estudo. **Fonte:** Autores (2024).

Dessa forma, os dados de qualidade da água foram obtidos por meio da plataforma Hidroweb, da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), em que foi realizado o download dos dados da estação fluviométrica n.º 60877200, em que se encontra a montante da área urbana do município de Santa Vitória-MG. Os dados adquiridos são referentes aos anos 1997, 2000 a 2003, 2005, 2007 a 2010, 2018 e 2019.

Os dados de uso e ocupação do solo, foram utilizados da classe 5 do projeto MapBiomias, desenvolvido por iniciativa do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima, como uma metodologia rápida e de baixo custo. O projeto elabora mapas anuais desde 1985 para todos os biomas brasileiros (MapBiomias, 2017).

Para a delimitação da bacia hidrográfica, foram utilizados os dados de altitude do projeto TOPODATA. O projeto oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS), em que é possível obter o perfil planialtimétrico da área de estudo.

A delimitação da microbacia foi feita no software Qgis 3.16. Os dados de classificação do MapBiomias estão disponíveis por ano, com resolução espacial de 30 m, e pode ser baixado como um raster e referenciado em WGS84 (EPSG: 4326), como uma unidade em graus.

Para que os dados da área de cobertura fossem tabulados, foi necessária a reprojeção para (EPSG: 31982), que se transforma em unidade de metros, permitindo o cálculo de áreas por meio do plugin LecosS (Landscape Ecology Statistic), disponível no Qgis 3.16. As classes de uso e ocupação são definidas como: Formação Florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Pastagem, Cana, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura urbana, Áreas não vegetadas, Rios e Lago, Soja e Lavouras Temporárias.

As variáveis de qualidade da água e do uso e ocupação foram submetidas à avaliação por meio de análise multivariáveis, admitindo a técnica dos componentes principais (PCA). A análise do PCA é empregada em dados experimentais padronizados pela transformação dos dados, a fim de evitar erros de classificação em decorrência das grandes divergências do dimensionamento das variáveis (LIU et al., 2003). O cálculo está descrito na Equação 1 (Gotelli; Ellison, 2016).

$$z = \frac{(Y_i - \bar{Y})}{S} \quad (1)$$

N equação, Y_i é o dado observado; \bar{Y} , a média do conjunto de dados; e S , o desvio padrão do conjunto de dados.

A padronização tende a reduzir a influência de variáveis cuja variância é grande e aumentar a influência de variáveis cuja variância é pequena, tornando os dados adimensionais, eliminando as influências das medidas (TIMM, 2002). Para a realização da PCA, foi utilizado o programa PAST 4.1.

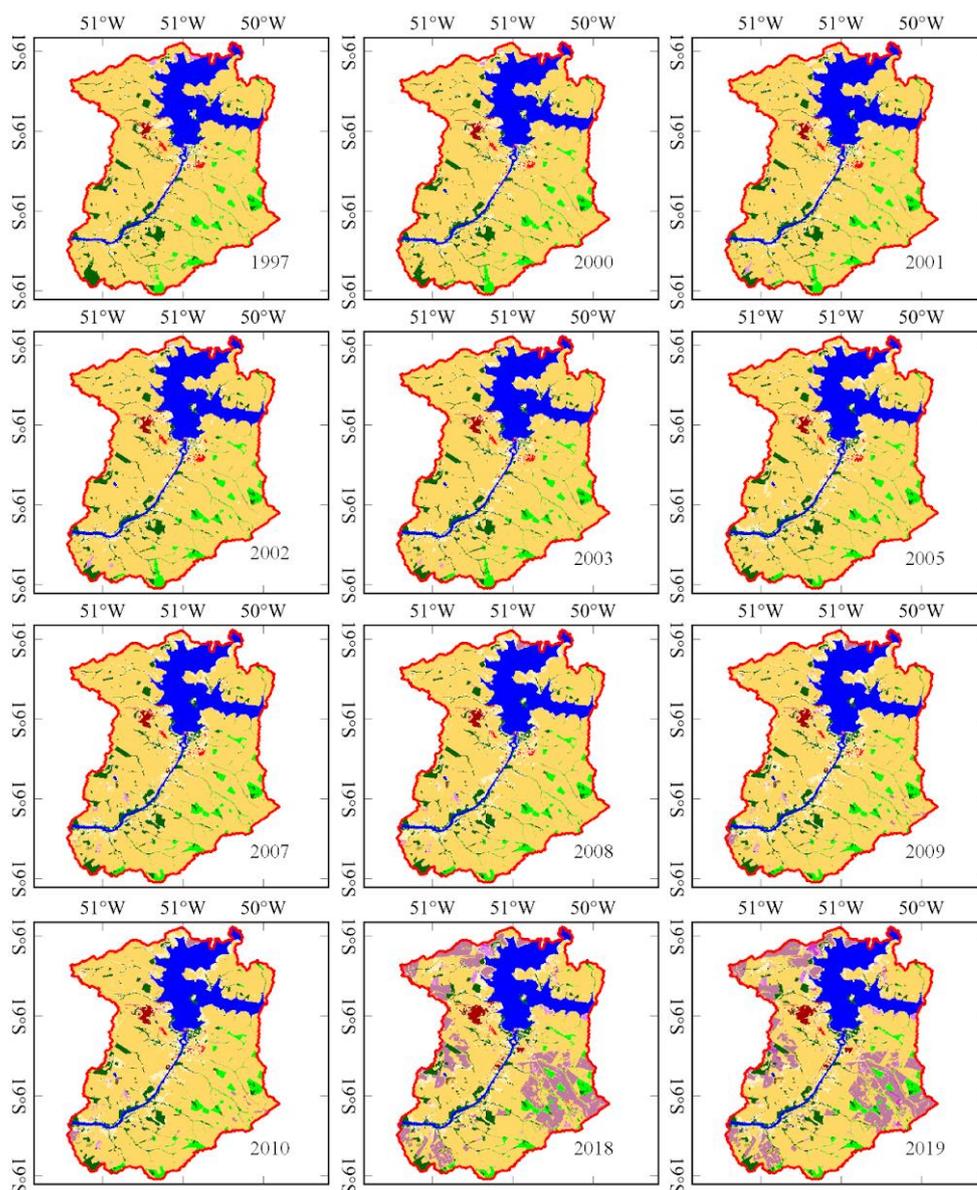
Para a aplicação do estudo da PCA, foi utilizado um conjunto de dados com 2.064 indivíduos relativos à qualidade da água e 24 variáveis, sendo elas: temperatura da amostra, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitritos, nitrogênio orgânico e fósforo total, formação florestal, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, pastagem, cana, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, áreas não vegetadas, rios e lago, soja e lavouras temporárias

3. Resultados e Discussão

O Centro-Oeste é uma região produtora de cana-de-açúcar que nos últimos anos obteve uma expansão da sua produção em decorrência do aumento da demanda de biocombustível, assumindo, assim, a posição de 2ª maior região produtora no país, sendo os estados de Mato Grosso do Sul e Goiás os que tiveram o maior crescimento de área de plantio de cana-de-açúcar, com 446% e 454%, entre os anos de 2003 e 2016, respectivamente (Bernardo et al., 2020; Mesquita; Furtado, 2016; Silva et al., 2021). Assim,

Goiás é responsável por 9,5% da produção brasileira de cana-de-açúcar, valor que o coloca como o 2º maior produtor de etanol do país, logo atrás de São Paulo (SIFAEG, 2021).

Refletindo acerca dessa realidade, pode-se observar que, aos longos dos anos, a mudança do uso e ocupação do solo na área de estudo em questão ocorreu forma expressiva, pois as áreas de pastagem passaram por um intenso processo de transformação, dando lugar a área destinadas ao plantio de cana-de-açúcar, processo acelerado pelo desenvolvimento de indústrias de biocombustível e a necessidade do mercado, conforme exposto na Figura 3.



Elementos do mapa

Uso e Ocupação

- Mosaico agricultura e pastagem
- Formação florestal
- Formação savânica
- Floresta plantada
- Formação campestre
- Pastagem

- Cana de açúcar
- Infraestrutura urbana
- Outras áreas não vegetadas
- Rios e lagos
- Soja
- Lavouras temporárias
- Microbacia

Sistema de Coordenadas Geográficas

DATUM: Sirgaas 2000/ UTM Zona 22S

Fonte: MapBiomias e TOPODATA

0 5 10 15 20 25 km



Figura 3. Uso e Ocupação da Microbacia de estudo em diferentes anos. **Fonte:** Autores (2024).

Conforme a Figura 3, pode-se observar que, a partir do ano de 2008, o aparecimento das lavouras de cana-de-açúcar e soja na região de estudo se intensifica ao longo dos anos.

O estado de Goiás, em termos gerais, obteve uma melhora na produção de bovinos, pois ocorreu o aumento do rebanho de 17,2 milhões em 2017 para 22,83 milhões em 2019 (SIDRA, 2019), mesmo com a redução de áreas de pastagem, que passou de 15,7 milhões de hectares para 14,9 milhões (MAPBIOMAS, 2020), para os mesmos anos, respectivamente, evidenciando o desenvolvimento de novas tecnologias eficientes para os modelos de produção (Ferreira; Miziara; Vazquez-González, 2022).

A Figura 3, corrobora com a observação dos autores, pois, na microbacia estudada, no ano de 1997, a pecuária era a principal atividade econômica desenvolvida na região e, ao longo dos anos, foi sendo substituída pelas lavouras de cana-de-açúcar e soja, principalmente em áreas próximas ao corpo hídrico principal, pela facilidade de obtenção dos recursos para o desenvolvimento da produção.

Dessa forma, a dinâmica do uso e ocupação solo tem influência sobre o ecossistema, podendo trazer benefícios ou não a ele. Contudo, para um desenvolvimento agrícola eficiente, é necessário o uso de fertilizantes e o uso e gerenciamento inadequado de tais compostos podem vir a refletir sobre a qualidade dos corpos hídricos da região (Lopes; Albuquerque, 2018). Os aspectos qualitativos de um corpo hídrico são reflexo do uso e ocupação da bacia de drenagem, que podem ser analisados por meio de parâmetros da qualidade da água (Esteves, 2011; Merten; Minella, 2004; Tucci, 2008; Tundisi; Tundisi, 2008).

A Tabela 1 contém a média anual dos parâmetros de qualidade da água e o desvio padrão para a série dados de estudo.

Tabela 1 – Média anual dos parâmetros de qualidade da água da microbacia de estudo

Ano	pH	T (UT)	OD (ml.L ⁻¹)	S total (ml.L ⁻¹)	NA (ml.L ⁻¹)	NO3- (ml.L ⁻¹)	NO2- (ml.L ⁻¹)	NO (ml.L ⁻¹)	P total (ml.L ⁻¹)
1997	7,59	2,00	6,20	39,00	0,10	0,36	0,003	0,10	0,03
2000	6,92	4,71	7,05	38,50	0,10	0,21	0,003	0,09	0,02
2001	7,15	5,41	6,63	36,75	0,10	0,17	0,000	0,08	0,01
2002	6,68	7,31	6,01	45,25	0,10	0,18	0,000	0,23	0,01
2003	6,18	5,97	6,18	39,75	0,23	0,17	0,002	0,00	0,00
2005	7,03	6,76	7,15	38,50	0,28	0,13	0,003	0,00	0,03
2007	6,73	9,99	6,48	43,75	0,10	0,07	0,001	0,05	0,03
2008	6,63	8,43	6,80	52,50	0,13	0,13	0,002	0,15	0,02
2009	6,78	6,21	6,90	45,50	0,00	0,00	0,004	0,00	0,02
2010	6,03	5,29	6,58	45,50	0,00	0,22	0,004	0,00	0,02
2018	6,50	4,96	5,90	42,50	0,14	0,74	0,003	0,17	0,02
2019	6,05	1,43	2,00	6,80	36,50	0,10	0,755	0,00	0,32
Média	6,69	5,71	6,56	42,00	0,12	0,26	0,002	0,10	0,02
Des. P	0,46	2,4	0,41	4,72	0,08	0,24	0,002	0,10	0,01

Nota: T – Turbidez; OD – oxigênio dissolvido; S – sólidos; NA – Nitrogênio amoniacal; NO – Nitrogênio orgânico; P – fósforo; Des. P – desvio padrão. **Fonte:** Autores (2024).

Os mananciais superficiais detêm, geralmente, valores de turbidez na faixa de 3 a 500, características as quais estão ligadas à formação da bacia hidrográfica e ao perfil hidrossedimentológico (Xavier; Quadros; Silva, 2022). O valor médio de turbidez foi de 5,71 UT, o que provoca uma ligeira nebulosidade da coluna d'água. No trecho, a montante

da estação de estudo tem um reservatório de uma hidroelétrica, o que contribui para menores valores de partículas em suspensão, em decorrência da alteração das características hidráulicas do corpo hídrico e, uma vez alterado o gradiente de velocidade do canal, gera uma deposição antecipada do material sedimentar, obtendo menores valores de turbidez (Zanin; Bonumá; Franco, 2017).

A indústria canavieira produz grande quantidade de resíduos orgânicos, assim, o uso desses materiais misturados com lodo da decantação da vinhaça, bagaço de cana e os demais resíduos gerados durante o processo de fabricação de etanol e açúcar são utilizados na fértil irrigação, o que substitui parcialmente o uso de fertilizantes minerais de origem industrial, aumentando a produtividade (Almeida Júnior et al., 2011; Silva; Griebeler; Borges, 2007).

Além disso, as características da bacia, como a topográfica e a vegetação, influenciam no processo de escoamento superficial, agindo como barreiras físicas, em que as partículas lixiviadas do solo são sedimentadas nas partes mais baixas do terreno e uma parcela é carregada para os corpos hídricos (Silva; Griebeler; Borges, 2007). Assim, a vinhaça é proveniente da destilação da fermentação do álcool da cana-de-açúcar e é rica em elementos como nitrogênio e fósforo (cerca de 100 vezes maior que os índices de esgoto doméstico). Nos períodos de precipitação, a matéria orgânica utilizada pela fertirrigação é carregada para corpos d'água e a mineralização desses materiais ocorre em consequência na disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD) (Barbosa et al., 2012; Esteves, 2011; Silva; Griebeler; Borges, 2007; Tundisi; Tundisi, 2008).

Conforme observamos o avanço das áreas agrícolas na região, percebemos que houve um aumento na concentração de nutrientes, tanto o fósforo (0,32 mg.L⁻¹) e o nitrogênio amoniacal (36,5 mg.L⁻¹), evidenciando que a mineralização dos compostos orgânicos tem causado a redução de OD no corpo hídrico (2 mg.L⁻¹). Isso mostra que esses resíduos possivelmente são lançados in natura, sem passar por um tratamento na redução de matéria orgânica solúvel, ocasionando impactos ambientais.

Para compreender as inter-relações entre as variáveis estudadas, aplicou-se a análise PCA. A projeção da maior variação da amostra gera o primeiro PC (componente principal), a projeção da segunda maior, avariação o segundo PC, assim, sucessivamente, com os demais componentes, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Autovalores dos componentes principais e seu percentual de variação

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11
Autovalores	10,19	4,87	2,00	1,61	1,23	0,89	0,49	0,31	0,23	0,11	0,05
VPC %	46,33	22,14	9,09	7,33	5,60	4,06	2,27	1,42	1,05	0,49	0,24
VPC Acumulada %	46,32	68,46	77,55	84,88	90,48	94,58	96,81	98,26	99,28	99,76	100

Fonte: Autores (2024).

As duas primeiras variáveis PC1 e PC2 expressam 68,46% da variabilidade amostral, isto é, 68,46% das variáveis são explicadas pelos componentes consultivos, podendo ser utilizadas para verificar as semelhanças e diferenças dentro do conjunto de dados. Logo, tende a utilizar o plano que a análise multivariada represente em torno de 70% do conjunto amostral (MARDIA; KENT; BIBBY, 1995). Na Figura 4, constam os fatores correlacionados do PCA.

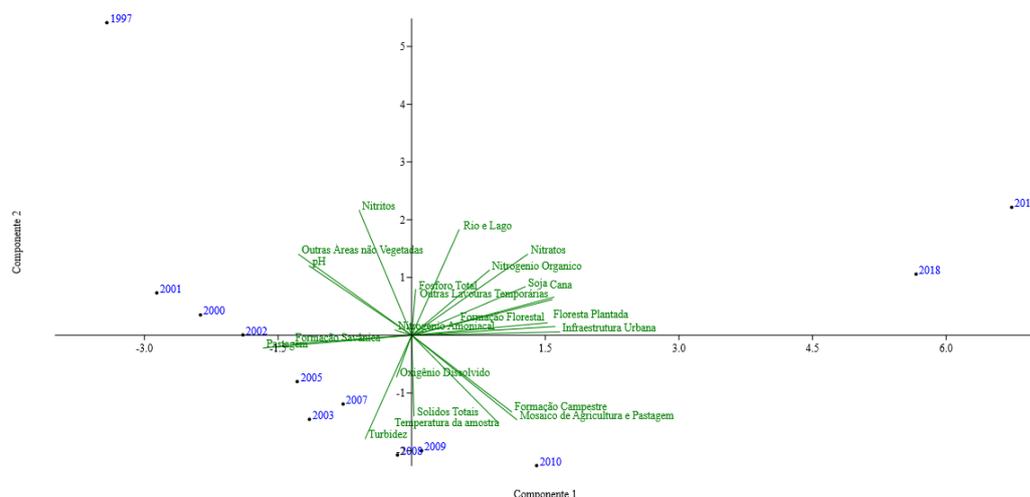


Figura 4. Gráfico biplot das variáveis de qualidade de água e de uso e ocupação da microbacia. **Fonte:** Autores (2024).

O componente 1, ou PC 1, detém as variáveis: Rio e lago, fósforo total, nitrato, nitrogênio orgânico, soja, cana, outras lavouras temporárias, formação florestal, floresta plantada e infraestrutura urbana, que se encontram na porção superior à direita do gráfico, caracterizando coordenadas fortemente positivas no eixo. É possível observar que essas variáveis apresentam maior influência sobre as outras no ano de 2018, que é observada uma maior expansão da área de cultivo de cana-de-açúcar na região.

O componente 2 detém as variáveis: pH, outras áreas não florestadas, nitrito, pastagem, formação savânica, turbidez, OD e nitrogênio amoniacal. É possível concluir que, pela representação do período de 1997 a 2008, os corpos hídricos da região apresentavam maiores índices de oxigenação. Nesse período houve os maiores índices de NO₂- e nitrogênio amoniacal, e a presença destes nutrientes se associa à contaminação recente por matéria orgânica vegetal ou humana, além da contribuição das lavouras da região (Gadelha et al., 2005).

Outro ponto relevante é que o município de São Simão dispõe de rede coletora de esgoto, que atende cerca de 88,77% da população, no entanto, não existe no município Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), então, todo esse efluente bruto é lançado dentro do corpo hídrico. Além disso, cerca de 10,72% do esgoto não é coletado e nem tratado (ANA, 2013). Dessa maneira, o crescimento da área urbana pode vir a degradar ainda mais a qualidade do corpo hídrico, uma vez que esse efluente bruto é lançado sem nenhum tipo de tratamento (Brasil, 2020).

Logo, o aumento das lavouras de canas, soja e a formação de novas áreas florestais tem peso significativo no aumento de nitratos, nitrogênio orgânico e fósforo total. Assim, a partir do ano de 2008, a presença desses elementos no corpo hídrico pode estar relacionada ao aumento do uso de fertilizantes e adubos, utilizados para promover o crescimento e fortalecimento das plantações que, após a precipitação, podem ser facilmente carregados por escoamento superficial para o corpo hídrico.

Portanto, a análise de PCA permitiu verificar a similaridade entre as variáveis estudadas, agrupando indicadores de qualidade com o uso e ocupação do solo, ao longo dos anos de estudo. Destaca-se que o uso e ocupação do solo tem influência direta na qualidade do corpo hídrico (Santos; Cordeiro; Vieira, 2021).

4. Conclusão

As análises das características ambientais possibilitaram observar que, na área de estudo, os fatores de uso do solo e, principalmente, o tipo de atividade que é desenvolvida na microbacia, tem influência nos parâmetros de qualidade da água. Assim, o aumento de áreas destinadas ao desenvolvimento de lavouras, em especial a cana-de-açúcar, devido à utilização de resíduos de transformação desse produto em açúcar e biocombustível para a fertirrigação das lavouras, tem acarretado o aumento de nutrientes, em especial o fósforo e o nitrogênio, no corpo hídrico, o que leva à diminuição de oxigênio dissolvido na coluna d'água, em decorrência do consumo de oxigênio para a oxidação da matéria orgânica, podendo vir a impactar a fauna presente nos corpos hídricos da região.

Logo, o desenvolvimento de áreas agricultáveis ameaça à segurança ambiental e socioeconômica. Para solucionar esse problema, a recuperação de áreas degradadas é um fator essencial e o tratamento de efluentes utilizados na fertirrigação é de extrema importância, para minimizar os efeitos causados pelo excesso de nutrientes carreados para os mananciais. Assim, mesmo com a diminuição dos valores de nutrientes dos efluentes utilizados para a fertirrigação, é possível garantir a produtividade sem impactar os corpos hídricos da região. Outro fator importante que pode ser observado se dá em relação à presença de NO₂- e nitrogênio amoniacal do corpo hídrico antes do ano de 2008 (ano em que é observado o aumento crescente das áreas agricultáveis na região), o que se relaciona com os índices de saneamento básico, pelo lançamento de esgotos sanitários in natura sem o devido tratamento.

Assim, pode-se concluir que há uma correlação entre as variáveis de qualidade da água e as do uso e ocupação do solo, sendo expressas no gráfico de componentes principais em decorrência do agrupamento dessas variáveis, em especial os nitratos, nitrogênio orgânico, apontando que essas são influenciadas pelo avanço da produção de cana-de-açúcar, soja e milho, junto ao desenvolvimento do centro urbano na microbacia em questão.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referência bibliográfica

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2013). Índice de qualidade das águas. Recuperado de: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> (acessado em: 27/08/2021).
- Almeida Júnior, A. B. De et al. (2011). Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 10, p. 1004–1013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>
- Barbosa, E. A. A. et al. (2012). Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 9, p. 952–958, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000900005>
- Bernardo, R. et al. (2020). Produtividade da cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul e Goiás: uma análise a partir da Visão Baseada em Recursos. *Interações (Campo Grande)*, v. 21, p. 419–434. <https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.1849>
- BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. (2020). Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto. Recuperado de: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/go/sao-simao> (acessado em: 27/08/2021).
- CEPEA, C. DE E. A. EM E. A.-E. PIB do Agronegócio Brasileiro. Recuperado de: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> (acessado em: 18 jul. 2022).
- Cunha, G. N.; Pasqualetto, A. (2021). Impactos socioeconômicos e ambientais do transporte ao processamento da cana-de-açúcar na Região Norte de Goiás. *COLÓQUIO - Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 18, n. 4, out/dez, p. 301–322. <https://doi.org/10.26767/2213>
- Esteves, F. DE A. (2011). *Fundamentos de Limnologia* 3o edição. Editora Interciência, Rio de Janeiro.

- Ferreira, G. C. V.; Miziara, F.; Vazquez-González, I. (2022). Intensificação da pecuária em Goiás. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 60, n. 4, p. 1–23. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.242960>
- Gadelha, F. J. S. et al. (2005). Visualização de Resumos. Recuperado de: http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/senior/resumos/resumo_266.html (acessado em: 20 jul. 2022).
- Gotelli, N. J.; Ellison, A. M. (2016). *Princípios de estatística em ecologia*. Artmed Editora.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Culturas temporárias e permanentes: Produção Agrícola Municipal*. Recuperado de: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria&t=resultados (acessado em: 17 jul. 2022).
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2008). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. Recuperado de: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> (acessado em: 18 jul. 2021).
- Köppen, W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographische Zeitschrift*, 6(11), 593–611. <http://www.jstor.org/stable/27803924>
- Liu, C. W.; Lin, K. H.; Kuo, Y. M. Wai and S. Y. Li. (2003). "Multivariate Statistical Study of Heavy Metal Enrichment in Sediments of the Pearl River Estuary," *Environmental Pollution*. Vol. 121, No. 3, pp. 377-388. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00234-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00234-8)
- Lopes, C. V. A.; Albuquerque, G. S. C. DE. (2018). Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em Debate*, v. 42, n. 117, p. 518–534, jun. 2018.
- MAPBIOMAS. Coleções Mapbiomas. Recuperado de: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR (acessado em: 21 jul. 2022).
- MAPBIOMAS. (2020). Plataforma de dados. Recuperado de: <https://mapbiomas.org/estatisticas> (acessado em: 06 jul. 2023).
- Mardia, K. V.; Kent, J. T.; Bibby, J. M. (1995). *Multivariate Analysis*. London.
- Merten, G. H.; Minella, J. P. (2004). Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33–38.
- Mesquita, F. C.; Furtado, A. T. (2016). Expansão da agroindústria canavieira e qualificação da mão-de-obra em Goiás (2006-2013). *Sociedade & Natureza*, v. 28, n. 1, p. 67–81. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160105>
- Pignati, W. A. et al. (2017). Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 10, p. 3281–3293. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>
- Portal da Indústria. Indústria de A a Z: glossário com os principais temas, ações, programas e serviços da indústria brasileira. Recuperado de: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/> (acessado em: 19 jul. 2022).
- Santos, A. C. D.; Cordeiro, F. S.; Vieira, E. M. (2021). Aplicação das ferramentas de geoprocessamento na análise da ocupação do solo e sua interação com a qualidade da água por métodos estatísticos da sub bacia Suaçuí Grande, MG. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 8, p. 241–258. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0023>
- SIFAEG - Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás. O associativismo como vetor de desenvolvimento da produção sucroenergética goiana. Recuperado de: <https://sifaeg.com.br/cana-de-acucar/> (acessado em: 27/08/2021).
- Silva, C. P. Da et al. (2021). Condições de trabalho no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e repercussões sobre a saúde dos canavieiros. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 46, p. 1–16. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000007820>
- Silva, M. A. S.; Griebeler, N. P.; Borges, L. C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 108–114. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100014>
- SINDIVEG, Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. (2020). O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas. Recuperado de: <https://sindiveg.org.br/wp-content/uploads/2021/11/bxresolucao.pdf> (acessado em: 21 jul. 2022).
- Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. (2019). Pesquisa Pecuária Municipal - PPM. Recuperado de: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021> (acessado em: 06 jul. 2023)
- Timm, N. H. (2002). *Applied multivariate analysis*. Nova York: Springer. 693 p.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 97. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>
- Tundisi, J. G.; Tundisi, T. M. (2008). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 632.
- Xavier, M. DAS V. S.; Quadros, H. C.; Silva, M. S. S. DA. (2022). Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, p. 1–14. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25118>
- Zanin, P. R.; Bonumá, N. B.; Franco, D. (2017). Comportamento hidrossedimentológico de bacia hidrográfica com reservatório. *Geociências*, v. 36, n. 1, p. 185–203. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12304>