



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Dinâmica Espaço Temporal da Qualidade das Águas Superficiais do Córrego Imbirussu Após a Sua Revitalização

Eiane Basilio de Lima¹, Rosemary Matias², Ademir Kleber Morbeck de Oliveira², Larissa Tinoco³, Higo José Dalmagro⁴

¹Discente do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - Universidade Anhanguera – Uniderp, Avenida Ceará, 333, Vila Miguel Couto, CEP 79003-010 Campo Grande, Mato Grosso do Sul, eianebasilio@hotmail.com (<https://orcid.org/0009-0007-4272-0734>);

²Docente do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - Universidade Anhanguera - Uniderp, Campo Grande, MS, Brasil, CEP 79003-010, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, rosematiasc@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0154-1015>); ademir.oliveira@cogna.com.br (<https://orcid.org/0000-0001-9373-9573>).

³Docente do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - Universidade Anhanguera - Uniderp, CEP 79003-010, Campo Grande, MS, Brasil, Pesquisadora Associada do Instituto Arara Azul, larissatinocobarbosa@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1124-4345>). Autor correspondente: larissatinocobarbosa@gmail.com

⁴Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - Universidade Anhanguera - Uniderp, CEP 79003-010, Campo Grande, MS, Brasil, higo.dalmagro@cogna.com.br (<https://orcid.org/0000-0002-2953-2575>)

Artigo recebido em 02/02/2024 e aceito em 09/09/2024

RESUMO

A perda da qualidade dos recursos hídricos nos centros urbanos está relacionada principalmente com os lançamentos de efluentes industriais e esgotos domésticos oriundos da inadequada ocupação do solo. A fragmentação da paisagem, estimadas com técnicas de processamento de imagem de satélite auxilia estudos referente à diminuição da vegetação ripária e entender sobre o uso e ocupação do solo de uma região. Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso do solo antes e após a revitalização da área do córrego Imbirussu em Campo Grande e a qualidade da água deste recurso hídrico. As imagens analisadas foram obtidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e compreenderam o período de 2006 e 2020, que correspondem a antes e depois da revitalização da região estudada. Para análise da qualidade da água, foram realizadas coletas de amostras de água em cinco pontos ao longo do córrego entre fevereiro de 2020 a novembro de 2021. Os resultados obtidos com análise temporal da área, demonstra que entre 2006 e 2020, houve uma redução significativa na vegetação arbórea após a revitalização da área em 2008. Os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram Índices de Qualidade da Água (IQA) fora dos parâmetros para a classe 2 da resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA principalmente para pH, Cor, PO₄⁻² e Coliformes Fecais, parâmetros os quais podem ser relacionados ao crescimento urbano demonstrado pelas imagens de satélite. Com os resultados desta pesquisa conclui-se que a água do córrego Imbirussu é imprópria para consumo humano e irrigação. Portanto, as informações obtidas neste trabalho, devem ser divulgadas para a população da região, uma vez que na área da bacia existe áreas com atividade agrícola.

Palavras-chave: Uso do solo; Sensoriamento Remoto; Recurso hídrico; Poluição hídrica.

Spatiotemporal Dynamics of Surface Water Quality of the Imbirussu stream after its revitalization

ABSTRACT

The loss of quality of water resources in urban centers is mainly related to the release of industrial effluents and domestic sewage resulting from inadequate land occupation. Landscape fragmentation, estimated with satellite image processing techniques, helps studies regarding the decrease in riparian vegetation and understands the use and occupation of land in a region. Within this context, the objective of the present work was to evaluate land use before and after the revitalization of the Imbirussu stream area in Campo Grande and the water quality of this water resource. The images analyzed were obtained by INPE (National Institute for Space Research – INPE and covered the period 2006 and 2020, which correspond to before and after the revitalization of the studied region. To analyze water quality, water samples were collected at five points along the stream between February 2020 and November 2021. The results obtained with temporal analysis of the area demonstrate that between 2006 and 2020, there was a significant reduction in tree vegetation after the revitalization of the area in 2008. The physical parameters -chemicals analyzed presented Water Quality Indexes (WQI) outside the parameters for class 2 of resolution 357/2005 of the National Environmental Council - CONAMA mainly for pH, Color,

PO₄⁻² and Fecal Coliforms, parameters which can be related to urban growth demonstrated by satellite images. With the results of this research it is concluded that the water from the Imbirussu stream is unsuitable for human consumption and irrigation. Therefore, the information obtained in this work must be disseminated to the population of the region, since there are areas with agricultural activity in the basin area.

Keywords: Land use; Remote Sensing, Water resources, Water pollution.

Introdução

O Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro em extensão, com cerca de 204 milhões de hectares, ocupando aproximadamente 25% do território nacional, com sua rica diversidade de espécies que compõem a maior vegetação savânica do mundo, mas também é composto por floresta e formações herbáceas (Sano et al., 2010; Forzza et al., 2012; Rocha et al., 2022). É influenciada por fatores como clima, geomorfologia, topografia, intemperismo físico/químico do solo, latitude, disponibilidade de água e nutrientes, entretanto vem gradativamente sendo impactada com a ocupação e uso de suas terras (Sano et al., 2010; Castro et al., 2016).

A maior parte do Cerrado está localizada no Planalto Central Brasileiro e dentre os estados inseridos neste bioma, está o Estado de Mato Grosso do Sul, cuja ocupação nas últimas décadas vem favorecendo a substituição de formações vegetais nativas, importantes para a conservação dos recursos hídricos, por pastagens e áreas agrícolas, além da expansão dos centros urbanos e núcleos industriais (Oliveira & Pirajá, 2023). Esta ocupação teve como divisor de águas a divisão do estado em 1977 do estado de Mato Grosso, em especial para Campo Grande que passa a ser capital do estado. Posterior a divisão o município vem sofrendo com o intenso desmatamento, tanto pela ocupação territorial, como pelo desenvolvimento das atividades econômicas associadas ao setor agropecuário e em especial pelos incentivos econômicos que tem favorecido a expansão urbana e industrial (Souza et al., 2015).

O Município de Campo Grande, por sua posição geográfica, tem características geológicas e geomorfológicas que permitem o aproveitamento tanto de recursos hídricos superficiais, como subterrâneos (Seplan, 1990). A cidade encontra-se localizada, predominantemente, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e sub-bacia do rio Pardo, onde o rio Anhanduí é o principal curso d'água do Município. Os córregos Lageado e Guariroba estão destinados ao fornecimento de aproximadamente 50% da água potável consumida no perímetro urbano (Planurb, 1999) e conforme a Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano (Planurb, 1999), todas as dez microbacias de Campo Grande já demonstram

efeitos de alterações antrópicas na maior parte das suas áreas, sendo que as características de efeito e intensidade de ocorrência de algum fenômeno passível de observação podem ser atribuídas de acordo com o tempo e o processo de ocupação.

Das 10 bacias a com maior área (km²) está a bacia Imbirussu, sendo os principais cursos d'água o Imbirussu e Serradinho, localizados na região noroeste da zona urbana do município, a microbacia é composta também pelo córrego Zé Pereira e abrange doze bairros da cidade. A nascente do Córrego Imbirussu é prejudicada pelo desmatamento oriundo da implantação de lavouras e pastagens (Barbosa et al., 2014), além de receber os efluentes industriais tratados nas próprias empresas instaladas na região do núcleo industrial de Campo Grande.

Pela localização geográfica da bacia do Imbirussu e por abranger 12 bairros de Campo Grande, em 18 de março de 2008, foram lançadas as obras do projeto do Complexo do Imbirussu incluídas no Programa de Aceleração do Crescimento- PAC, e pelo Fundo Financeiro para o Desenvolvimento da Bacia do Prata (Fonplata). Neste projeto foi previsto a eliminação de efluentes nos Córregos Imbirussu e Serradinho, bem como a recuperação dos cursos d'água e fundo de vales, preservando a faixa de drenagem dos córregos e com a finalidade de recuperar e manter o equilíbrio ecológico da microbacia (News Brasil Central, 2008).

Embora tenha ocorrido obras de revitalização na região da bacia do Imbirussu, as pesquisas realizadas sobre esta bacia hidrográfica envolvem poucos trabalhos publicados, cabe ressaltar pesquisas que relatam os impactos da urbanização associados à impermeabilização do solo e análise de uso e ocupação do solo na Região Urbana do Imbirussu, a ocupação nas proximidades de fundo de vale, temáticas estas abordadas apenas por Pirajá e Silva (2013; 2014) e a análise da evolução temporal dos padrões de uso e ocupação do solo da bacia em Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Barbosa et al., 2014).

Com base nas pesquisas publicadas fica evidente a intensidade de exploração dos recursos físicos e biológicos desta área que já apresenta uma grande variabilidade ambiental com ambientes extremamente frágeis e susceptíveis à degradação,

como já detectado em outras bacias de Campo Grande, como a bacia hidrográfica do córrego Ceroula (Oliveira & Pirajá, 2023). Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo analisar a qualidade da água do Córrego Imbirussu e estudar a relação entre sua ocupação e a fragmentação da paisagem da microbacia do Imbirussu antes e após sua revitalização.

Material e métodos

Localização e caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, com uma população estimada em 897.938

habitantes (Ibge, 2022). O município ocupa uma área de 8.096 km² o que corresponde 2,26% da área total do Estado, está geograficamente na porção central do Estado, ocupando 2,26% da área total do Estado (Figura 1) e localiza-se nas imediações do divisor de águas das Bacias do Paraná e Paraguai (20° 26' 34'' latitude Sul e 54° 38' 47'' longitude Oeste) e sua altitude variando entre 500 e 675 metros (Planurb, 2008; Ibge, 2017). A região faz parte do bioma Cerrado, apresentando fitofisionomias como cerradão, cerrado sentido restrito, mata ciliar e de galeria, campo sujo, rupestre e limpo e veredas (Souza Pinto et al., 2021).

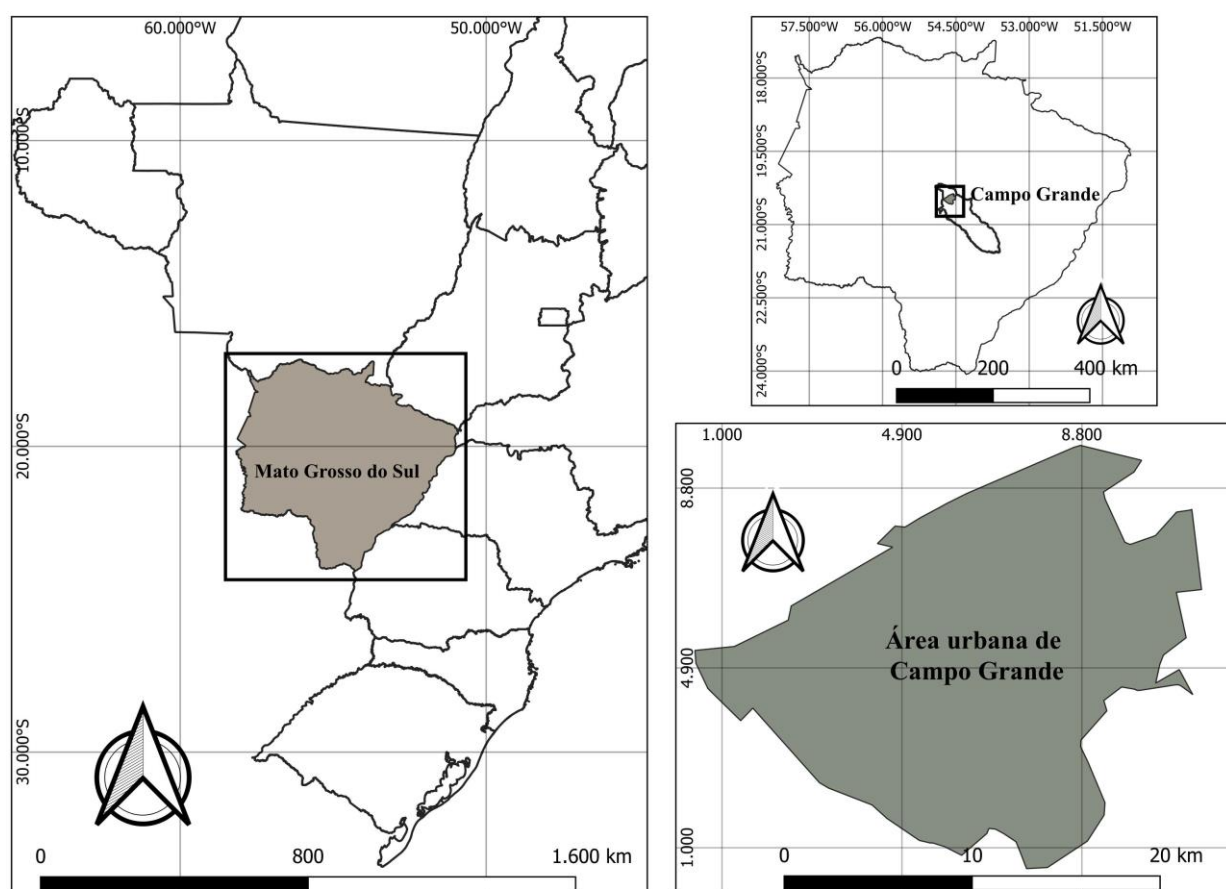


Figura 1. Localização da área de estudo, Campo Grande, Matro Grosso do Sul.

O clima predominante no município de Campo Grande, segundo a classificação de Koppen, situa-se na faixa de transição entre o sub-tipo (Cfa) mesotérmico úmido sem estiagem e o sub tipo (Aw) tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, caracterizada pela deficiência hídrica nos meses de julho, agosto e novembro, com uma precipitação média anual em torno de 1469,8 mm e a mínima 1072,8 mm,

enquanto que a evaporação gira em torno de 2374,5 mm anuais (Oliveira et al., 2003; Silva et al., 2007).

O município de Campo Grande é caracterizado por diferentes formas de paisagens, urbanas, industrial rurais, ambas mescladas a fragmentos e/ou elementos constituintes de paisagens naturais (Pirajá & Silva, 2013). De acordo com a Lei Complementar n. 74, de 6 de setembro de 2005, que dispõe sobre o

“ordenamento do uso e da ocupação do solo no município de Campo Grande, a cidade está dividida em sete regiões (Figura 2): Centro,

Segredo, Prosa, Imbirussu, Lagoa, Bandeira e Anhanduizinho (Barbosa et al., 2014).



Figura 2. Regiões urbanas de Campo Grande, MS. Fonte: PLANURB (2008).

A microbacia hidrográfica do córrego Imbirussu, localizada na porção oeste da do município, Região Urbana do Imbirussu em Campo Grande, tem o córrego Imbirussu, sendo o principal tributário do Rio Anhandui, além dos córregos Serradinho e Zé Pereira, a região abrange cinco bairros (José Abrão, Panamá, Popular, Nova Campo Grande, Núcleo Industrial) e parte de sete outros bairros (Nasser, Santo Amaro, Santo Antônio, Sobrinho, Taveirópolis, São Conrado e Caiobá), totalizando uma área de 66,7 Km² (Semadur, 2010).

2.2. Análise temporal das imagens da microbacia do córrego Imbirussu

Para análise temporal do uso e ocupação do solo, foi realizado um recorte temporal de 2006, antes da revitalização da área, e 2020, após a revitalização.

As informações sobre o uso da terra foram obtidas com auxílio do software *spring* 5.1 com imagens do satélite Landsat TM 5, órbita/Ponto

225/74 datadas respectivamente de 11/08/06 e 22/09/2020, adquiridas pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, na página do Banco de Imagens da DPI/INPE.

Para a obtenção das imagens foi utilizado, recorte de imagem de dados vetoriais referentes aos limites da área da microbacia do Imbirussu disponibilizadas online pela Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano de Mato Grosso do Sul (SEMADUR) com Composição colorida e realce de imagem utilizando a combinação RGB com as bandas 3, 4 e 5 das imagens de satélite resultando na composição 3B4G5R, falsa cor.

2.4. Coleta e Análise de Amostras de Água em cinco trechos do córrego Imbirussu

Para a análise da qualidade da água foram definidos cinco pontos amostrais, os quais foram determinados pela disponibilidade de dados geográficos acurados para a região, sendo três locais onde ocorreram as obras de revitalização, e

outros dois pontos da região onde não ocorreu a revitalização, contemplando a saída do perímetro urbano de Campo Grande garantindo assim um perfil a montante e a jusante da região revitalizada,

contemplando as áreas urbanas, industriais, agrícolas e florestadas (Quadro 1, Figura 3).

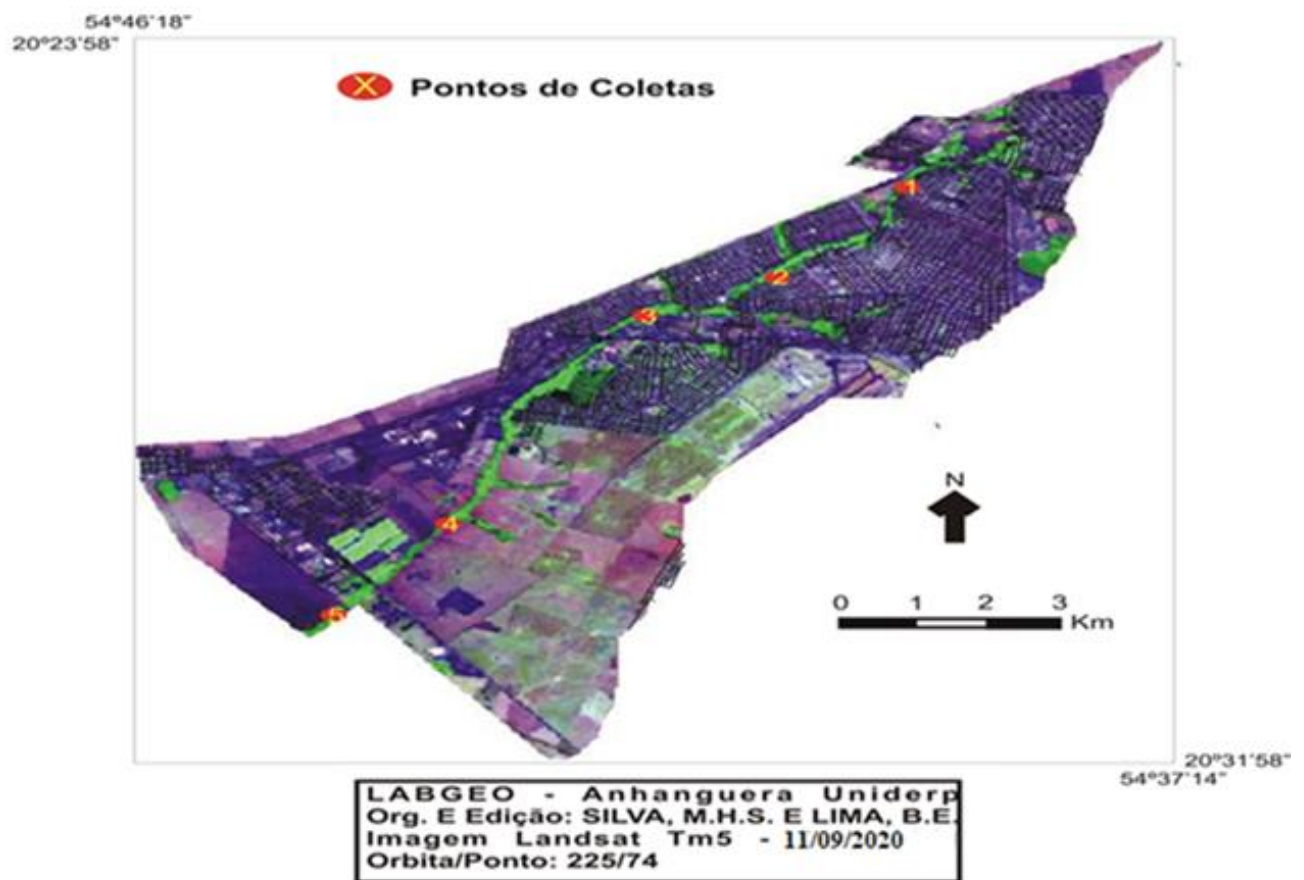


Figura 3. Pontos de coleta de amostra de água e solo ao longo do córrego Imbirussu.

Quadro 1. Localização e descrição dos 5 pontos de coleta ao longo do Córrego Imbirussu, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Pontos	Localização/Coordenadas	
P1	Localizado na região do bairro Santo Amaro antes da junção com o córrego <u>Serradinho</u> no perímetro urbano da cidade. O corpo d'água é margeado por uma limitante vegetação de pequeno porte a qual antecede uma área constituída por gramíneas em que aparentemente ocorre o pisoteio de animais de grande porte, além do lixo encontrado até a avenida.	 (20°26'58.88"S e 54°41'06.95"O)
P2	Localizado no bairro jardim <u>Imá</u> aos fundos do Centro de Educação Ambiental <u>Imbirussu</u> , entrada do Horto Municipal em área revitalizada. Local protegido por cerca de metal para a conservação da pouca mata ciliar existente, porém, o trecho que antecede esse ponto é caracterizado por uma grande degradação.	 (20°27'11.57"S e 54°41'27.29"O)
P3	Localizada na saída da área revitalizada do complexo do <u>Imbirussu</u> , localizado na avenida Júlio de Castilho, bairro Nova Campo Grande. A região é caracterizada em seu início por uma grande quantidade de gramíneas e pouca vegetação de grande porte, essa que se modifica aumentando ao longo do córrego.	 (20°27'29.55"S e 54°42'10.23"O)
P4	Localizado dentro do núcleo industrial de Campo Grande, setor esse que utiliza o córrego para o despejo de efluentes previamente tratados. Nesse ponto o córrego é margeado por uma mata ciliar com falhas em alguns pontos.	 (20°30'03.62S e 54°43'54.94"O)
P5	Localizado na saída do Núcleo Industrial, apósanel viário na BR 060 que liga Campo Grande ao município de Sidrolândia. O local é composto por uma pequena mata ciliar que margeia o córrego além de possuir extensas áreas agrícolas.	 (20°36'08.54"S 54°43'49.02"O)

*GPS de navegação. Datum Sad 69. Projeção UTM.

As coletas de amostras de água ocorreram nos meses de setembro de 2020 a agosto de 2021, sempre na primeira quinzena de cada mês, nos horários fixos entre 8:00 e 10:00 horas da manhã, com a finalidade de mitigar a interferência da variação horária na composição do esgoto lançado no manancial, em comparação entre os períodos de seca e chuva.

Cada ponto teve amostras coletadas nas margens direita e esquerda do córrego, na superfície, meio e fundo, obtendo-se assim uma amostra composta de cada local. Para a coleta foi utilizado uma garrafa de Van Dorn e as amostras transferidas para frascos de vidro estéril e acondicionadas em caixa térmica (Temperatura $\approx 4^{\circ}\text{C}$), evitando possíveis alterações até a chegada no Laboratório de Hidroquímica Ambiental da Instituição, onde foram analisadas. No momento da coleta mediu-se a temperatura da água e do ambiente, pH da água (Digimed, DM-20), condutividade elétrica (Digimed, DM3), oxigênio dissolvido (Digimed, DM4). Os demais parâmetros físicos e químicos de: cor (Nessler, Quanti-2000), turbidez (Policontrol, Ap2000), alcalinidade, acidez, dureza total e cloretos por titulometria, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (incubação durante 5 dias a 21°C e aferição através do oxímetro), demanda química de oxigênio (DQO) (digestor de DQO/Titulometria), óleos e graxas (Gravimetria), sólidos sedimentáveis (Cone de Inoff), sólidos totais (Gravimetria), foram analisados no laboratório de Hidroquímica Ambiental da Universidade, assim como as análises microbiológicas empregando a técnica de tubos múltiplos para determinar o Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Totais e Termotolerantes. As análises física, química e microbiológica foram desenvolvidas seguindo o Standard Methods (Apha, 2012) e executadas em três repetições. Os obtidos das análises mensais foram registrados em planilhas tratados estatisticamente e comparados com os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estabelecidos para águas superficiais na Resolução 357/2005 do CONAMA (Brasil, 2005).

2.5. Análise estatística

Para comparar diferenças dos parâmetros físicos e químicos da água entre os pontos de coleta, utilizou-se a técnica de bootstrap que calculou um intervalo de confiança (IC) de 95%, construindo 1000 conjuntos de dados amostrais, começando por amostragem aleatória (com substituição) dos pontos observados. Diferenças estatisticamente significativas nos valores médios de cada parâmetro foram determinadas pelo grau de sobreposição em $\pm 95\%$ de IC (Efron & Tibshirani, 1994). Os resultados foram explorados posteriormente usando análise de componentes principais para identificar interdependências entre parâmetros (por exemplo, fatores comuns) e para identificar clusters espaciais dentro do espaço de parâmetros reduzidos. A análise fatorial incluiu concentrações de pH, C.E., OD, DQO, DBO, C.T., Sól. Sed., Sól. Totais, Cl^- , PO_4^{2-} . Todas as análises foram feitas utilizando o ambiente do software R (versão 4.0) (R Core Team, 2022).

Resultados e discussão

Uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Imbirussu.

A microbacia do córrego Imbirussu possui uma área de $66,96 \text{ Km}^2$ e, de 2006 até 2020, a microbacia perdeu $6,15 \text{ Km}^2$ de vegetação arbórea (Tabela 1). As mudanças da cobertura ocorreram principalmente na parte centro sul, onde a vegetação deu lugar a áreas de plantações e pastagens. Já o aumento da ocupação urbana se deu na parte mais central que antes era pastagem (Figura 4, Tabela 1). A mudança temporal da microbacia do córrego Imbirussu já havia sido observada por Barbosa et al. (2014), ao analisarem imagens entre 1990 e 2011. Os autores constataram que, naquele período, o que mais havia influenciado na modificação da paisagem foram a expansão da malha urbana e o aumento das pastagens, o que acarretou aumento em enchentes devido à baixa impermeabilização e declividade do solo da microbacia. O mesmo foi observado em outros estudos (Pirajá & Silva, 2013; 2014). A revitalização da área (Figura 5) influenciou no processo de mudança no uso e ocupação do solo na região, pois contribuiu para o desenvolvimento da região e valorização da área para compra de imóveis e novas construções, substituindo os vazios urbanos e áreas de chácaras do entorno, que muitas vezes são caracterizados por árvores nativas, por áreas construídas.

Além das enchentes, o descarte inadequado do lixo as margens do córrego Imbirussu e despejo de esgoto diretamente no corpo d'água (Barbosa et al., 2014) causa a poluição do recurso hídrico, impactando negativamente a população humana que habita a região, tornando impróprio o seu consumo. Além das consequências que esses impactos causam sobre a fauna local.

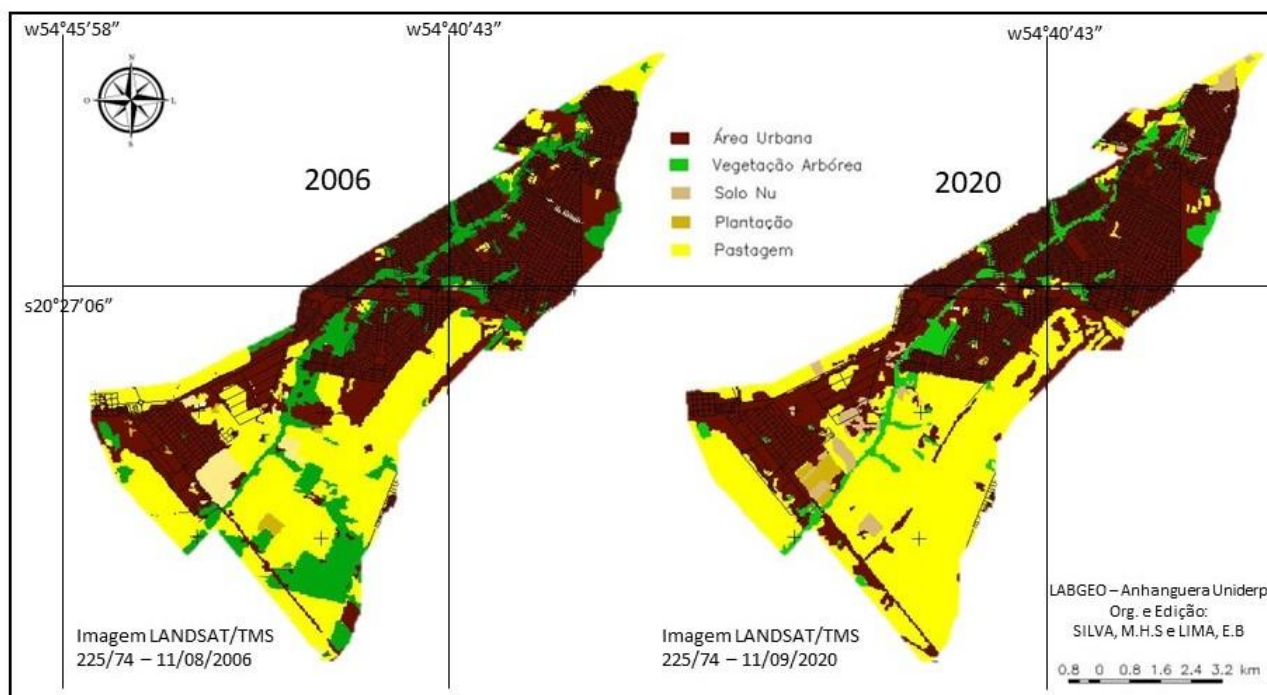


Figura 4. Uso e Ocupação do Solo na área do Imbirussu em 2006 e 2020.

Tabela 1. Quantificação das classes em relação a extensão do Imbirussu entre 2006 e 2020.

IMBIRUSSU	2006 (área em km ²)	2006 (área em %)	2020 (área em km ²)	2020 (área em %)
Vegetação Arbórea	10.61	15,8%	4.46	6,6%
Solo Nu	1.54	2,3%	2.04	3%
Área Urbana	32.32	48%	33.7	50%
Pastagem	22.07	33%	26.0	38%
Plantação	0.42	0,6%	0.71	1%
Área total	66.96	100%	66.96	100%



Figura 5. Imagem da Área do Imbirussu após a revitalização, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Parâmetros físico-químicos da água do córrego Imbirussu.

O valor médio de turbidez do Córrego Imbirussu foi de $12,79 \pm 1,43$, valor abaixo do estabelecido para corpos hídricos classe 2, pela Resolução do Conselho Nacional do Meio

Ambiente – CONAMA 357/05 (Brasil, 2005), e diferenças significativas só foram observadas no P2 ($11,42 \pm 0,72$) em relação aos P4 ($13,31 \pm 0,93$) e P5 ($15,58 \pm 3,70$) (Tabela 2). O valor médio do pH dos 5 pontos estudados foi de $6,32 \pm 0,21$, valor bem próximo do limite inferior estabelecido pela citada Resolução do CONAMA (Tabela 2). Diferenças significativas para o pH foram observadas somente entre o P5 e P1, sendo que os valores medidos no P1 foram ligeiramente abaixo do permitido pelo CONAMA (Tabela 2). Contudo, os valores de pH medidos no córrego do Imbirussu estão dentro dos relatados por Esteves (2011), que afirma que grande parte de lagos, rios ou riachos têm pH com a variação de 6 e 8.

A condutância elétrica (CE) foi significativamente maior no P4 e P5 em relação aos P1, P2 e P3 (Tabela 2) e em ambos os pontos os valores de CE foram superiores a $100 \mu\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, o que segundo a CETESB (2008) é considerado ambiente impactado, com possível contaminação por sais dissolvidos. Já para o oxigênio dissolvido (OD), apenas em P1 foram observados valores acima de $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 1), ou seja, em todos os outros pontos avaliados, o OD apresentou valores inferiores aos recomendados para corpos hídricos classe 2, na qual se inclui o Córrego Imbirussu. Os valores mais baixos de OD foram observados mais à montante do córrego (P4 e P5) e são significativamente diferentes dos pontos mais à jusante (P1 e P2). Isso mostra que à medida que a água do córrego percorre as áreas urbanas, há um acréscimo na presença de matéria orgânica biodegradável devido ao lançamento de esgoto doméstico, pois quanto maior a quantidade de matéria orgânica encontrada na água, maior será o número de micro-organismos decompositores e consequentemente maior quantidade de oxigênio consumido (Nozaki et al., 2014). Mudanças de OD após passagem por perímetros urbanos também foram observados por Sardinha et al., (2008) em águas do Ribeirão do Meio, em Leme - SP, fato que pode ser atribuído à decomposição de matéria orgânica (por oxidação) oriunda dos efluentes domésticos da cidade.

O valor médio de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi de $28,51 \pm 3,95 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 2), não apresentando nenhuma variação significativa entre os pontos, indicando que a autodepuração do córrego Imbirussu é insuficiente. Os resultados de DBO para todos os pontos não atendem ao padrão para corpos hídricos classe 2 (Brasil, 2005), sendo superiores a $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, mostrando mais uma vez a possibilidade da existência de despejos domésticos no córrego, o

que pode ser explicado pelo fato da bacia hidrográfica à qual pertence o Córrego Imbirussu percorrer área urbana. Valores acima de $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de DBO também foram observados por Machado et al., (2005) ao investigarem a qualidade das águas do Rio Paraíba no trecho urbano de Juiz de Fora - MG, tendo obtido o valor de $15,57 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para DBO. Já os valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) variaram de $123,03$ a $102,07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com valor médio de $110,13 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 2). As diferenças significativas foram observadas entre P3 com os P1 e P2. Mesmo sem ter seu valor regulamentado pela Resolução 357/2005 do CONAMA (Brasil, 2005), a DQO é um parâmetro de grande importância em estudos sobre a qualidade da água, constituindo um teste rápido que dá uma indicação do oxigênio requerido para estabilização da matéria orgânica (Thebaldi et al., 2011). Chapman e Kimstach (2012) consideram como critério de qualificação de águas superficiais não poluídas um limite de DQO de $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, ou de até $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em mananciais que sofrem a descarga de efluentes. Portanto, os valores encontrados de DQO nesse trabalho sugerem a ocorrência de poluição aquática.

Os resultados para coliformes termotolerantes em todas as amostras analisadas estiveram acima dos valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA (Tabela 2). O elevado índice de coliformes sugere alguma falha na eficiência do tratamento de efluentes lançados no córrego, provavelmente provenientes da antiga estação de tratamento de esgotos – ETE no bairro Coophatrabalho e principalmente no P4, região do Polo Empresarial Oeste e Núcleo Industrial, onde está localizada a estação de tratamento de efluentes de um frigorífico e de um curtume, fatos que já apareceram em relatórios de índice de qualidade de água de Campo Grande divulgado pela SEMADUR nos anos de 2009, 2010 e 2011 (Semadur, 2009; 2010; 2011). A contaminação de corpos d'água que percorrem áreas da cidade de Campo Grande-MS não é exclusiva da microbacia do Imbirussu. Pesquisas realizadas por Duquini et al. (2022) constataram que o córrego do Segredo, um dos córregos urbanos de Campo Grande apresentou os níveis de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de coliformes termotolerantes (CT), em todos os trechos avaliados valores altos resultado dos lançamentos clandestinos de esgoto e resíduos sólidos urbanos nos cursos d'água. Esse é um problema que atinge as cidades e prejudica a saúde humana (Arcos et al., 2020, 2022). A presença de coliformes nas amostras avaliadas neste estudo torna não recomendável o uso da água

do córrego Imbirussu para irrigação de plantas consumidas cruas (hortaliças) e para dessedentação de animais.

Tabela 2. Valores médios seguidos de intervalo de confiança das variáveis físicas (Turbidez), químicas (pH; CE; OD; DBO; DQO) e microbiológica (C.T.) em cinco pontos de amostragem no córrego Imbirussu, Campo Grande –MS.

Pontos de Coletas	Turb. U.N.T	pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	OD mg/L	DQO mg/L	DBO mg/L	C. T. N.M.P. em 100 mL
P1	11,95 $\pm$ 0,96ab	6,43 $\pm$ 0,12a	141,23 $\pm$ 4,00a	5,12 $\pm$ 0,19a	109,99 $\pm$ 3,97b	26,59 $\pm$ 2,70a	> 2400
P2	11,42 $\pm$ 0,72b	6,59 $\pm$ 0,22a	142,34 $\pm$ 4,77a	4,85 $\pm$ 0,13ab	103,25 $\pm$ 3,32b	29,18 $\pm$ 2,30a	> 2400
P3	11,69 $\pm$ 0,85ab	6,38 $\pm$ 0,23ab	134,64 $\pm$ 5,43a	4,71 $\pm$ 0,16bc	123,03 $\pm$ 7,84a	25,16 $\pm$ 4,08a	> 2400
P4	13,31 $\pm$ 0,93a	6,22 $\pm$ 0,21ab	226,41 $\pm$ 30,81b	4,50 $\pm$ 0,14c	112,31 $\pm$ 8,55ab	32,17 $\pm$ 7,58a	> 2400
P5	15,58 $\pm$ 3,70a	5,98 $\pm$ 0,28b	246,79 $\pm$ 33,56b	4,58 $\pm$ 0,17c	102,07 $\pm$ 16,86ab	29,48 $\pm$ 3,10a	> 2400
Média	12,79 $\pm$ 1,43	6,32 $\pm$ 0,21	178,28 $\pm$ 15,71	4,75 $\pm$ 0,16	110,13 $\pm$ 8,11	28,51 $\pm$ 3,95	>2400
Resolução nº 357/05	Até 100	6,0-9,0	*	≥ 5	*	Até 10	Até 2400

*Não há parâmetros de qualidade. pH = potencial hidrogênio, C.E.= condutividade elétrica. OD= oxigênio dissolvido. DQO= demanda bioquímica de oxigênio. DBO= Demanda bioquímica de oxigênio. C. T. = coliformes termotolerantes. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2020.

Valores de cor dos pontos mais a montante (P4 e P5) foram significativamente maiores do que dos pontos mais a jusante (P1, P2 e P3) (Tabela 3), porém não ficaram fora dos padrões permitidos pela Resolução do CONAMA que é de 75 mg Pt L⁻¹. De acordo com Von Sperling (2005), a cor é responsável pelo aspecto da água, podendo ser verdadeira quando causada por substância orgânica e inorgânica, e aparente quando causada por suspensões. De forma semelhante a cor, os sólidos sedimentáveis (SS) apresentaram valores menores no ponto mais a jusante P1 (0,20 $\pm$ 0,05) e foram aumentando até a parte mais a montante P5 (0,46 $\pm$ 0,11). Sendo que todos os pontos ficaram acima do valor de 0,1 mg L⁻¹, recomendado para ambientes aquáticos conforme Resolução do CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005). Os valores altos de SS no córrego do Imbirussu estão relacionados à falta de conservação do solo e à retirada da vegetação nativa, que são fatores preponderantes para a ocorrência do assoreamento de rios e córregos. Conforme Vanzela et al. (2010), o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribui significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais.

O teor de sólidos totais (ST) no Córrego Imbirussu variou de 105,37 $\pm$ 8,16 a 1238,63 $\pm$ 48,53 mg L⁻¹ (Tabela 3). Esta variabilidade pode ser atribuída tanto a processos naturais, como também à erosão causada pelo desmatamento das margens

e, principalmente, resíduos domésticos que são despejados sem tratamento ao longo do Córrego. Segundo o CONAMA nº357/05 (Brasil, 2005), o máximo permitido de ST em cursos d'água é de 500 mg L⁻¹. Dessa forma, nenhum dos pontos avaliados apresentou valores maiores que o permitido.

A carga de fósforo PO₄⁻² presente nos cinco pontos de amostragem e transportada pelo córrego Imbirussu, variou de 0,20 a 1,02 mg L⁻¹, tendo-se encontrado diferenças significativas entre P1, P2 com o P4 (Tabela 3). Teores de fósforo ficaram acima do limite que é de 0,15 mg L⁻¹, segundo o CONAMA nº357/05 (Brasil, 2005), em corpos d'água estão associados ao carreamento de sedimentos de terras agrícolas adubadas ou a lançamento de esgotos. Na microbacia do Imbirussu não se verifica agricultura intensiva, portanto, é mais provável que os níveis de fósforo estejam associados ao despejo de efluentes domésticos, pois próximo ao P4 há a estação de tratamento de efluentes de um frigorífico. Como os valores de fósforo foram acima do limite no período de avaliação, os resultados dessa variável em conjunto com coliformes termotolerantes sugerem alguma falha na eficiência do tratamento dos efluentes do frigorífico.

Ambos os pontos amostrados apresentaram concentrações de cloreto (Cl⁻) abaixo do valor estabelecido pelo CONAMA nº357/05 (Brasil, 2005). Valores mais altos foram encontrados no P4 e menores no P1, sendo ambos significativamente

diferentes (Tabela 3). Embora os valores encontrados estejam dentro da normalidade estabelecida pelo CONAMA, a presença de Cl^- pode indicar dissolução de sais o que é associado origem antropogênica advém de despejos domésticos ou industriais e água proveniente de irrigação (Von Sperling, 2005), atividade está

muito presente na área de estudo, como observado na Figura 4. Valores baixos de cloreto também foram encontrados por Izarias et al., (2014) ao estudar a qualidade das águas em áreas urbanas do rio Taquari – RS.

Tabela 3. Valores médios seguidos de intervalo de confiança das variáveis: cor, sólidos solúveis, sólidos totais, cloretos e fósforo total avaliadas em cinco pontos de amostragem no córrego Imbirussu, Campo Grande –MS.

Pontos de Coletas	Cor mg Pt/L	Sól. Sed. mg/L	Sól. Totais mg/L	Cl^- mg/L	PO_4^{-2} mg/L
P1	34,30±9,27 ^a	0,20±0,05 ^a	110,63±9,67 ^{bc}	9,48±0,98 ^c	0,20±0,05 ^b
P2	30,08±9,09 ^a	0,21±0,04 ^a	105,37±8,16 ^c	13,08±1,58 ^b	0,34±0,11 ^b
P3	36,00±10,44 ^a	0,49±0,31 ^{ab}	113,77±6,30 ^{bc}	11,87±1,17 ^b	0,44±0,10 ^{ab}
P4	60,00±10,92 ^b	0,62±0,09 ^b	238,63±48,53 ^a	57,10±15,45 ^a	1,02±0,54 ^a
P5	74,17±9,24 ^b	0,75±0,08 ^b	128,10±10,68 ^b	15,78±5,34 ^b	0,48±0,13 ^{ab}
Média	46,91±9,79	0,46±0,11	139,30±16,67	21,46±4,90	0,50±0,19
Resolução nº 357/05	75	0,1	500	250	0,15

Sól. Sed.= sólidos sedimentáveis; Sól.Totais = sólidos totais; Cl^- = cloretos; PO_4^{-2} = fósforo total.

3.3. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros físico-químicos da água do córrego Imbirussu.

A PCA é considerada como uma ferramenta que permite reduzir a dimensionalidade da matriz de dados, facilitando a sua compreensão. Em geral, espera-se que a redução do número de componentes principais ajude a explicar a maior parte da variância dos dados originais, sem perda de informação relevante (Marten & Naes, 1991). A PCA foi aplicada a todas as variáveis ambientais (físicas (Turbidez, Cor, Sól. Sed e Sól. Totais) e químicas (pH; CE; OD; DBO; DQO, Cl^- , PO_4^{-2}), amostradas no córrego Imbirussu. Isso resultou em dois componentes principais que explicam mais de 40% da variância total no conjunto amostral (Figura 5). O primeiro componente (Dim1) foi responsável pela separação entre os 5 pontos amostrados. À direita localizam-se as amostras relativas ao P, P2 e P3, as quais são discriminadas por influência dos parâmetros DQO, pH e OD. Já à esquerda do PC1, localizam-se as amostras relativas ao P4 e P5, pontos mais a montante da microbacia. Estas amostras foram discriminadas pelos maiores valores de Sól. Sed., Sól.Totais, cloreto, Turb. Cor, CE, PO_4^{-3} e DBO. A elevação destes parâmetros e a redução de OD sugere que o

impacto das fontes difusas é mais acentuado nestes pontos do rio (P4 e P5), indicando que as condições de preservação do córrego sugerem contaminação pontual, proveniente de efluentes.

O PCA2 explicou 15,4% da variabilidade e foi responsável pela separação das amostras em função da sedimentação, demanda de oxigênio e pelo pH. Esses parâmetros ficaram acima da linha do horizonte (Figura 5). As demais amostras, situadas abaixo da linha horizontal, foram discriminadas por PO_4^{-2} , CE, Cl^- e Sól. Totais, relacionado principalmente com o P4 e P5.

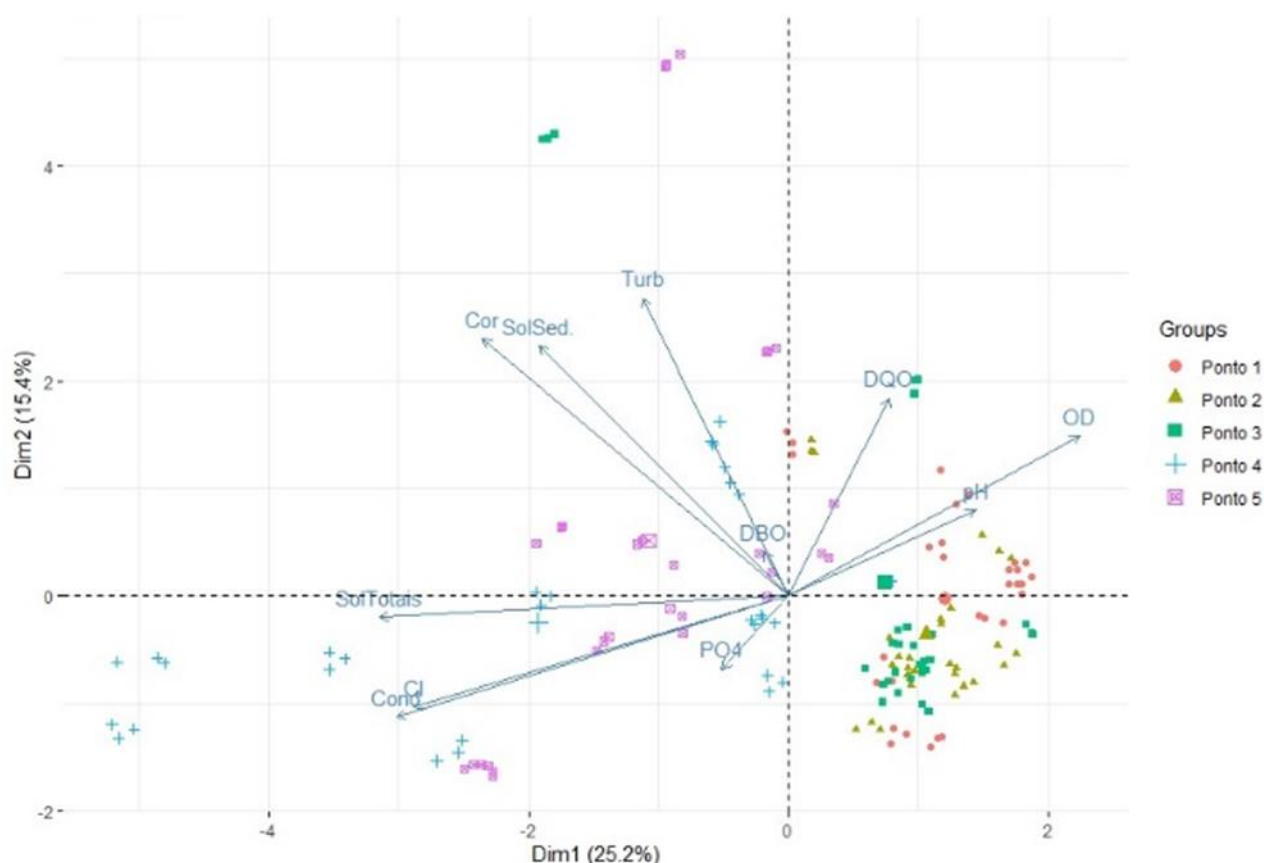


Figura 6. Biplot de escores e pesos (loadings) para os 5 pontos de amostragem do córrego Imbirussu.

Conclusões

A Microbacia do Imbirussu sofreu alterações significativas na sua paisagem, após a revitalização da área em 2008. A análise de imagens de satélite entre 2006 e 2020 evidenciou o aumento da área urbana, da área de pastagens, de solo exposto e de plantações. Entre os parâmetros analisados, Sól. Sed. CE; OD; DBO; DQO, PO_4^{-2} e C.T. não estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Maiores alterações na qualidade da água foram observadas na parte à montante (P4 e P5), ou seja, abaixo no núcleo mais urbanizado da microbacia. Nesta região, identificou-se um aumento da concentração de PO_4^{-2} , DBO, C.T. e redução na concentração do OD. A água do córrego Imbirussu não pode ser utilizada para consumo e nem para irrigar alimentos consumidos crus, como hortaliças. Estas alterações são um indicativo de poluição por esgoto doméstico ou industrial. O acesso a esses dados visa contribuir com a disseminação de conhecimentos acerca da qualidade das águas do córrego do Imbirussu e consequentemente disponibilizar informações que

auxiliem o poder público e a sociedade na tomada de decisões locais, a fim de buscarem a melhoria nas condições de saneamento básico dos municípios pesquisados.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de produtividade em pesquisa, concedidas. À universidade Anhanguera – Uniderp, pelo apoio ao projeto.

Referências

- Apha - American Public Health Association. 2012. Standard methods for examination of water and wastewater (23 ed.). EPS Group.
- Arcos, A. N., Silva, J. S. da., & Cunha, H. B. da. 2020. Grupo coliforme fecal como indicador de balneabilidade em praia de água doce no rio Negro, Amazonas. Research, Society and

- Development, 9 (7), e238974015.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4015>
- Arcos, A. N., & Cunha, H. B. da. 2022. Índice de qualidade de água (IQA) e balneabilidade em praias de água doce no rio Negro, Manaus (Amazonas). *Revista Espinhaço*, 11(1).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7108333>
- Barbosa, L. T., Rizzi, E., Silva, M. H. S., & Mercante, M. A. 2014. Urbanização e mudanças na paisagem da Bacia Ambiental Imbirussu, Campo Grande – MS. In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. [Anais...] Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 1, 641-651.
<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p102.pdf>
- Brasil - Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>
- Castro, A.P., Silva, M. R. S. S., Quirino, B. F., Bustamante, M. M. C., Krüger, R. H. 2016. Microbial Diversity in Cerrado Biome (Neotropical Savanna). *Soils.PLoS ONE*, 11, 1-16.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148785>
- Chapman, D., & Kimstach, V. Selection of water quality variables. 2012. In: Chapman, D. (Ed.) *Water quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. UNESCO/ WHO/UNEP, 74-133.
http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/wqa/en/
- Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2008. *Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo*. (1 ed). Série Relatórios.
- Duquini, R. M., Silva, M. H. A., & Calças, M. 2022. Análise do uso e ocupação da terra através de um índice de qualidade de água na microbacia do córrego Segredo, Campo Grande/MS, Brasil. *Revista GeoPantanal*, 17(32), 139-153.
<https://doi.org/10.55028/geop.v17i32.16260>
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. 1994. *An Introduction to the Bootstrap*. CRC Press.
- Esteves, F. 2011. *Fundamentos de limnologia* (3. ed). Interciência.
- Forzza, R. C., Baumgratz, J. F. A., Bicudo, C., & Canhos, D., ... & Zappi, D. C. 2012. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. *BioScience*, 62(1), 39-35.
<https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.8>
- Izarias, N. S., Peranzoni, A. C. M., Kafer, G. A., Oliveira, A. M., Silva, A. S., Oliveira, E. C., & de Santana, E. R. 2014. Qualidade das águas em áreas urbanas do rio Taquari nos municípios de Estrela e Lajeado-RS. *Ciência e Natura*, 36, 789-797.
<https://doi.org/10.5902/2179460X14896>
- Machado, P. J. O., Valle, G. M., Rinco, L., Carmo, L. F. Z., & Latuf, M. O. 2005. Qualidade das águas do Rio Paraibuna no trecho urbano de Juiz de Fora/MG. *Revista Virtú*, 1, 43-57.
<https://docplayer.com.br/36718981-Qualidade-das-aguas-do-rio-paraibuna-no-trecho-urbano-de-juiz-de-fora-mg.html>
- Marten, H., & Naes, T. 1991. *Multivariate Calibration*, John Wiley and Sons.
- Oliveira, A. G., Andrade F., Dilermando, J., Falcao, A. L., & Brazil, R. P. 2003. Study of sand flies (Diptera, *Psychodidae*, *Phlebotominae*) in the urban area of Campo Grande, Mato Grosso do Sul State, Brazil, from 1999 to 2000. *Cad. Saúde Pública*, 19(4), 933-944. 10.1590/s0102-311x2003000400016
- Oliveira, V. M. 2008. Avaliações físicas, químicas e biológicas da microbacia do córrego Modeneis em Limeira-SP. *Engenharia Ambiental*, 5(1), 86-96.
- Pirajá, R. V., Silva, & M. H. S. (2013). Análise multitemporal da bacia ambiental do Imbirussu em Campo Grande-MS. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 9(2) 325-339. 10.17271/19800827922013649
- Pirajá, R. V., & Silva, M. H. S. 2014. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Imbirussu-Campo Grande, MS. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 10(2), 168-182.
- Planurb - Instituto Municipal de Planejamento Urbano e de Meio Ambiente. 1999. *Perfil Sócio-Econômico de Campo Grande*.
<http://www.pmcg.ms.gov.br/PLANURB>
- Planurb - Instituto Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente. 2008. *Diagnóstico Ambiental Analítico das Bacias Ambientais*. In: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande Campo Grande, PMCG. file:///C:/Users/Larissa%20e%20Luiz/Downloads/20140709133711.pdf
- Rocha, A. B. de A., Barbosa, V. R. F., Faria, K. M. S., Martins, E. de S., Soares Neto, G. B. S. 2022. *Geomorphologic Map of the Brazilian Cerrado*

- by geomorphometric archetypes. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(3), 1674-1684. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i3.2132>
- Sano, E. E., Brito, J. L. S., & Ferreira, L. G. 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 113-124. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>
- Semadur - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano. 2009. Qualidade das Águas Superficiais de Campo Grande: Relatório 2009. <https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/24/2012/10/C%C3%B3rrego-Limpo-Cidade-Viva-2009.pdf>
- Semadur - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano. Qualidade das Águas Superficiais de Campo Grande: Relatório 2010. <https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/24/2012/10/C%C3%B3rrego-Limpo-Cidade-Viva-2010.pdf>
- Semadur - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano. 2011. Qualidade das Águas Superficiais de Campo Grande: Relatório 2011. <https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/24/2012/10/C%C3%B3rrego-Limpo-Cidade-Viva-2011.pdf>
- Seplan – Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul. 1990. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral, Coordenação de Recursos Naturais, mapas, Campo Grande.
- Silva, E. A., Andreotti, R., & Honer, M. R. 2007. Comportamento de *Lutzomyia longipalpis*, vetor principal da leishmaniose visceral americana, em Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 40(4), 420-425.
- Vanzela, L. S, Hernandez, F. B. T., & Franco, R. A. M. 2010. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, (1), 55-64. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>
- Von Sperling, M. 2011. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. (4ª ed.) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM.
- R CORE TEAM (2022). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1), [Computer software]. <https://cran.r-project.org>