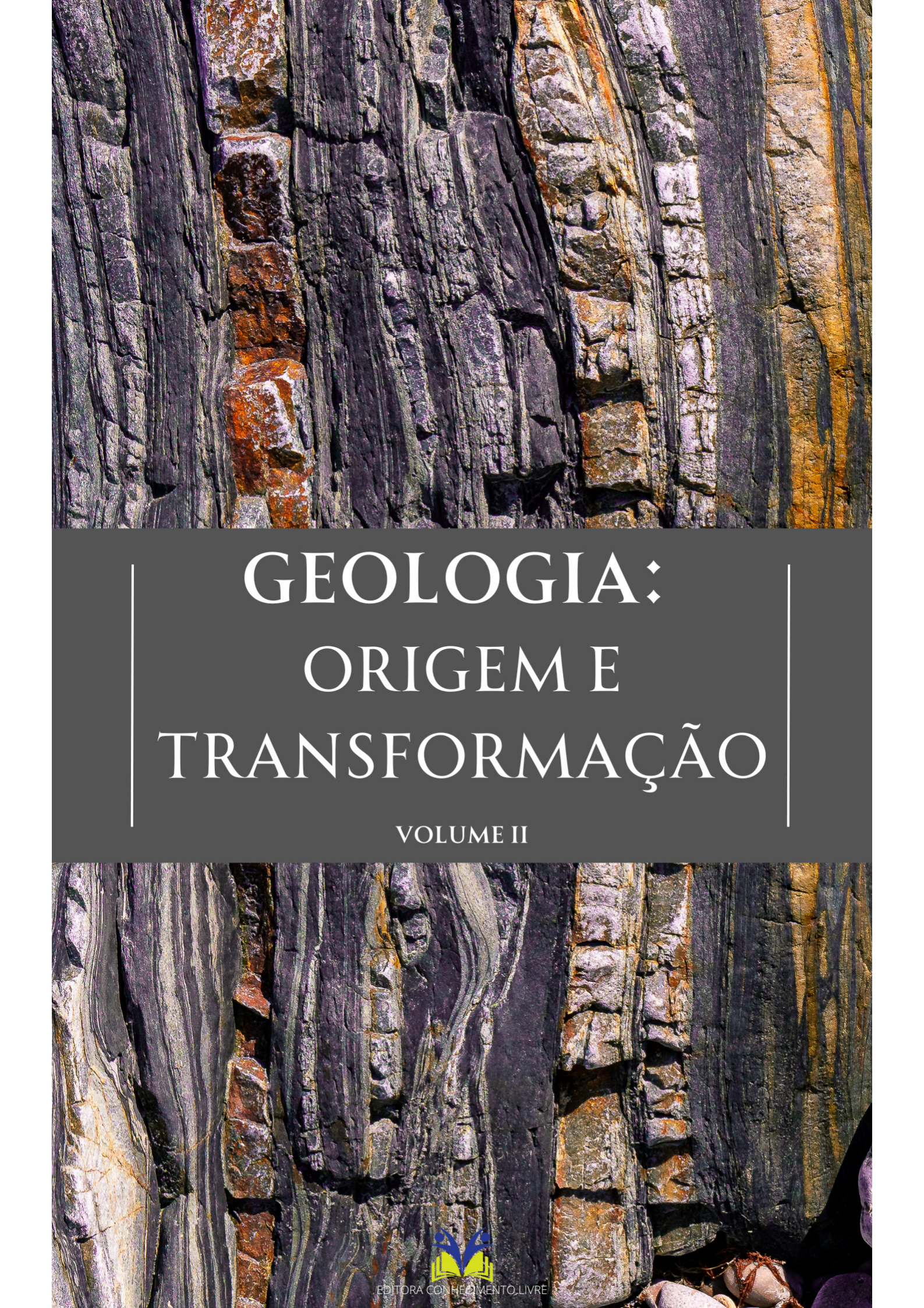




GEOLOGIA: ORIGEM E TRANSFORMAÇÃO

VOLUME II



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Plínio Ferreira Pires

Geologia: origem e transformação

2ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre

2ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pires, Plínio Ferreira
P638G Geologia: origem e transformação

/ Plínio Ferreira Pires. – Goiânia-GO

Editora Conhecimento Livre, 2025

83 f.: il

DOI: 10.37423/2025.edcl1219

ISBN: 978-65-5367-735-7

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. terra 2. composição 3. estrutura 4. evolução I. Pires, Plínio Ferreira II. Título

CDU: 550

<https://doi.org/10.37423/2025.edcl1219>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
MULTIPLE GEOPHYSICAL STRATEGY FOR LAND RECYCLING OF AN OLD INERT WASTE LANDFILL, IN NORTHEAST BRAZIL	
Suzan Sousa de Vasconcelos	
Joelson da Conceição Batista	
Luiz Rogério Bastos Leal	
Martinho Pinheiro Silva Junior	
DOI 10.37423/251210526	
CAPÍTULO 2	27
DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO PARA COM(POR) TERRITÓRIOS GEOPARQUES	
Edimundo Almeida da Cruz	
Ana Christina Wigner Gimes	
DOI 10.37423/251210532	
CAPÍTULO 3	39
UMA ANÁLISE SOBRE A RETIRADA DA AEROFOTOGAMETRIA DO CURRÍCULO ACADÊMICO GEOGRÁFICO	
LUCAS VENICIUS NOGUEIRA DOS SANTOS	
MATEUS DOS SANTOS RODRIGUES	
LUISA CONCEIÇÃO NUNES DA SILVA	
LEANDRA VITÓRIA BEZERRA SOUZA	
DOI 10.37423/251210535	
CAPÍTULO 4	47
DINÂMICAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NO PARQUE ESTADUAL DO AGUAPEÍ, SÃO PAULO: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 1998, 2010 E 2022	
Luan Moreira Ullofo	
Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia	
DOI 10.37423/251210545	
CAPÍTULO 5	60
CARACTERIZAÇÃO FLUVIOMORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS - RS.	
RAFAELA HARUMI FUJITA	
WAGNER VALDIR DOS SANTOS	
JOÃO PEDRO FRANCO SOUSA	
DOI 10.37423/251210546	

CAPÍTULO 6 71

RELAÇÕES ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁREAS ÚMIDAS E A CONFIGURAÇÃO
MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO BAMBUÍ – ALTO SÃO FRANCISCO, MG

Lívia Lara Silva Pereira

Rúbia Riane de Souza Araújo

Harold George Monteiro Ferreira

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Diego Alves de Oliveira

Elizêne Veloso Ribeiro

Luiz Fernando de Paula Barros

DOI 10.37423/251210548

Capítulo 1



10.37423/251210526

MULTIPLE GEOPHYSICAL STRATEGY FOR LAND RECYCLING OF AN OLD INERT WASTE LANDFILL, IN NORTHEAST BRAZIL

Suzan Sousa de Vasconcelos

Department of Geophysics, Federal University of Bahia, Salvador, Brazil

Joelson da Conceição Batista

Department of Geophysics, Federal University of Bahia, Salvador, Brazil

Luiz Rogério Bastos Leal

Department of Geophysics, Federal University of Bahia, Salvador, Brazil

Martinho Pinheiro Silva Junior

Federal University of Bahia



ABSTRACT

Land recycling refers to the reutilization of developed land for new purposes. In this study, an old landfill site is being considered for integration with an urban sub-way system. Issues such as the lack of historical waste disposal records, unknown pits landfill boundaries, and potential instances of illegal dumping of household waste leading to the generation of by-products like biogas and leachate, render the landfill unsuitable for conventional use. To address these challenges, a combination of indirect methodologies including geophysical techniques was proposed to assess the physical properties of the underground environment associated with the land-fill. This paper presents the findings from an investigation utilizing Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Magnetometric (MAG) surveys conducted on a significant deposit of construction and demolition waste located within a former inert landfill in Northeast Brazil. Preliminary geotechnical surveys of the upper portions of the waste massif indicated the presence of methane gas, potential leachate seepage, embedded concrete blocks with iron reinforcement, and trace amounts of other metals. The interpretation of resistivity and magnetic data facilitated the delineation of metal-rich zones characterized by low electrical resistivity and high magnetic susceptibility. Conversely, areas with high resistivity and low magnetic susceptibility were indicative of gas presence or compacted and unsaturated soil conditions. Further validation through deep environmental drilling and excavation activities in preparation for subway construction corroborated the geophysical anomalies. These efforts confirmed the presence of organic-rich sections with elevated moisture content within the landfill, as well as the occurrence of methane gas emissions, concrete debris, and ferrous materials originating from the construction industry demolition activities.

Keywords: Magnetometry, Electrical Resistivity Tomography, Solid waste, dumpsite, biogas.

1 INTRODUCTION

Due to population growth, urban expansion, economic development, and migration from rural to urban areas, large amounts of solid waste have been generated by daily activities of residential, commercial, industrial, construction, and demolition sectors, creating critical complications related to municipal management of solid waste (Kan-chanabhan et al., 2011; Zohoori & Ghani, 2017). Many types of this waste are mixed and disposed of without treatment in illegal dumpsites or non-sanitary landfills, especially in developing countries such as Brazil (Ferronato & Torretta, 2019; Morita et al., 2021; Ramos & Martinho, 2023). Municipal solid waste in Brazil generally has high concentrations of organic matter $\approx 47\%$, and small amounts of metals $\approx 2.5\%$. In contrast, in construction and demolition, waste building rubble, wood, steel, concrete, dirt, bricks, and tiles (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

In Brazil, landfills and dumping are the most municipal solid waste disposal methods (Lopes et al., 2012; Morita et al., 2021). The inadequate disposal of municipal solid waste (open dumps or non-sanitary landfills) is still widespread in medium and small cities, causing visual impacts, air contamination, odors and gas emissions, vectors of diseases, and soil, surface water, and groundwater pollution (Ferronato & Torretta, 2019; Hoornweg & Bhada-Tata, 2012; Morita et al., 2021). In this regard, the high content of organic matter disposed of in municipal waste landfills may enhance the development of biogeochemical hot spots associated with high rates of microbial activity, resulting in landfill gas and leachate production. The gas accumulation in a landfill may result in spontaneous combustion and fires and is responsible for $\approx 5\%$ of global greenhouse gas emissions (Frid et al., 2010; Leonard, 2003; Zhang, Guo, Wang, & Chen, 2019).

To promote sustainable urbanization that enhances both quality of life and environmental protection, rethinking the use of old waste areas and repurposing underutilized or contaminated land in growing cities can reduce urban sprawl and preserve green spaces. As part of land recycling, reorganizing cities through the recreation of use for abandoned areas is essential for community well-being and biodiversity. In this regard, sustainable land reuse strategies revitalize urban areas and contribute to environmental sustainability by minimizing deforestation and reducing the carbon footprints associated with transportation and infrastructure development (Davoudi, 2012).

Geophysics, through its methodologies, offers essential solutions for several areas, serving as a basis for numerous geotechnical problems, which use non-invasive geophysical techniques, collaborating

to preserve the integrity of the examined environment. In the specific case of landfills, geoelectrical surveys are often employed to determine the variations in water content, salinity, and temperature within the waste massif, the leachate impact on aquifers, and mapping biogeochemically active zones with the presence of gas (Belghazal, Piga, Loddo, Messari, & Touhami, 2013; Bichet, Grisey, & Aleya, 2016; Costanzo-Alvarez et al., 2022; Dumont et al., 2016; El-Salam & Abu-Zuid, 2015; Flores-Orozco, Gallistl, Steiner, Brandstätter, & Fellner, 2020). Geoelectrical surveys combined with soil and borehole water quality (WQ) analyses in standard practices for characterizing and monitoring contaminated sites have been used successfully in Brazil (Lopes et al., 2012; Martinho, 2023; Porsani et al., 2004; Souza Teixeira et al., 2010). The magnetic method has been used in landfill studies in the search for buried magnetic materials such as barrels, pipes, or construction and demolition waste enriched in ferrous materials (French, Williams, & Foster, 1988; Gibson, Lyle, & George, 1996; Marchetti, Cafarella, Di Mauro, & Zirizzotti, 2002; Santos, Mateus, Figueiras, & Goncalves, 2006). Geoelectric and magnetic survey applications can be found in Roberts, Hinze, Leap, and Ward (1990), Hinze, Roberts, and Leap (1990), Lanz, Boerner, Maurer, and Green (1998), Dumont et al. (2016), and Ib-raheem, Tezkan, and Bergers (2021).

This paper presents an environmental evaluation and characterization study based on acquired, processed, and interpreted geoelectric and magnetometric geophysical data associated with geotechnical data. The objective of this study was, at first, to explore the use of the geophysics techniques of ERT and MAG to delineate the bottom of the landfill pit and characterize its inner volumes, detecting the presence of portions rich in organic matter with high humidity inside the dump, leachate, the occurrence of methane, concrete blocks, and ferrous materials from the demolition of the construction industry. Its validation occurs through environmental and geotechnical drilling performed after geophysical targeting and it collaborated to implement the subway in the region. Hereinafter, for simplifying, the acronym CDWD refers to the Construction and Demolition Waste Dump studied.

2 SITE DESCRIPTION AND GEOLOGICAL SETTING

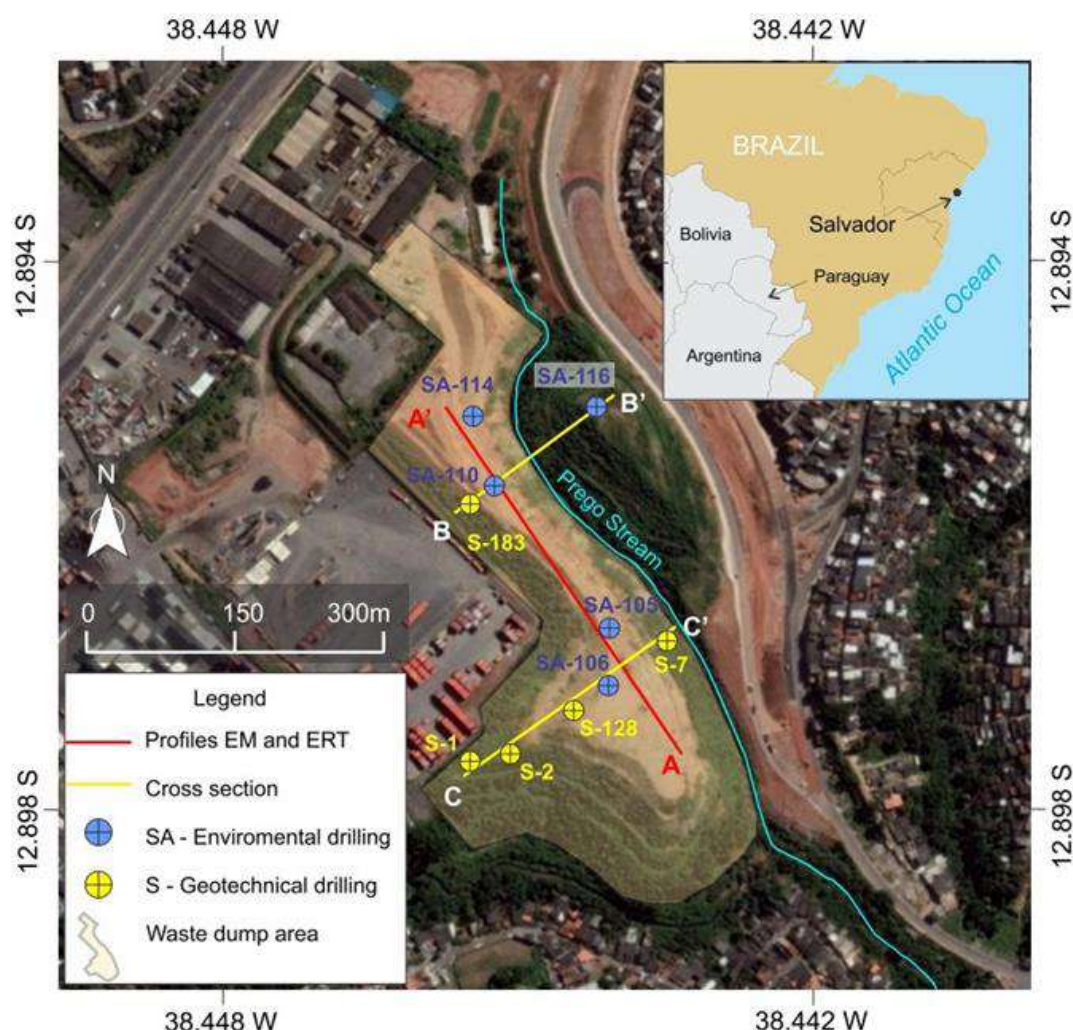
The investigated area comprises the dumpsite of construction and demolition waste in the Northeast of the city of Salvador (Northeastern Brazil) at a latitude of 12°89' South and longitude of 38°44' West (Figure 1).

The dumpsite was installed in an abandoned quarry and occupied an area of approximately 5 ha. There is no leachate collection or liner beneath the dump, and preliminary information indicates a depth up to 65 m. About 3.6 million tons of waste were deposited in this dumpsite between 2009 and 2016. The first indication of biogas was found during a geotechnical drilling service for subway expansion works in July 2018. Currently, the dump is surrounded by an urban occupation infrastructure, where a subway station and bus terminal should be implemented for about 4 million passengers per year.

Geologically, the area of Salvador city is subdivided into three major domains: (i) the Alto de Salvador, which is a horst of granulitic-gneisses crystalline bedrocks from south of the Itabuna - Salvador - Curaçá Block; (ii) the Recôncavo sedimentary basin, which is limited, eastwards, by the Salvador fault system; and (iii) the Atlantic Coastal Margin, composed of Tertiary and Quaternary deposits of unconsolidated sediments (Peucat et al., 2011; Souza- Oliveira et al., 2014). The crystalline basement rocks, composed predominantly of granulites and amphibolites, are exposed in a large part of Salvador city and include in the investigated area. The soil of the region is quite thick (a few meters), with clayey texture, good permeability, and porosity (latosols) derived from the weathering of these granulitic gneissic rocks of the crystalline basement positioned at the base (Gonçalves, Botelho, Machado, & Netto, 2021). A layer of this type of soil cover, approximately 1 m thick, was placed over the dump to reduce rainwater infiltration and leachate generation and ensure geotechnical stability.

Salvador has a very homogeneous tropical humid climate on daily and yearly time-scales. The annual average temperature is 25.5 °C, and the annual average precipitation is around 1800 mm (Moura et al., 2022; Simões, Silva, & Araújo, 2018). The dump site is located at a high topographical level ≈ 90 m sea level, and investigations of hydraulic gradient show that the local flow of groundwater is towards the Pregó Stream (Figure 1).

Figure 1. Location map of the CDWD landfill.



3 METHOD AND SURVEY DESCRIPTION

Shallow SPT sounding identified methane gas at the dumpsite (Figure 1). The Standard Penetration Test – SPT (ABNT, 2001) is a geotechnical investigation widely used to obtain information about the stratigraphy of the subsoil to characterize the type of soil and the water level position, for example. The presence of biogas in this type of dumpsite is not expected because, according to the standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT, 2004), the disposal of waste containing organic matter is not allowed. The classification is established by the Resolution of the National Environment Council (Conama, 2002).

The SPT geotechnical investigations were stopped after confirming the presence of biogas in the dumpsite interior. Then ERT and MAG surveys were applied to detect the geometry of waste deposits, mapping biogeochemically active zones with the presence of biogas, locating possible paths of

pollution plumes, and search for buried magnetic materials such as barrels, pipes, or construction and demolition waste en-riched in ferrous materials. The ERT and MAG are geophysical methods of indirect and non-destructive underground investigation (Ward, 1990; Zhdanov & Keller, 1994). The strategy of choosing these specific methods depends on the sensibility and resolution about which kind of physical properties of the investigated medium they can respond to. However, it is also essential to consider the area size to execute the data survey because each technique requires an available extension in line or sur-face. Furthermore, the topography can be a limiting factor for data coverage.

3.1. Sounding investigation

Deep environmental drilling was carried out after the geophysical surveys to confirm the anomalies and collect samples for geochemical analysis and classification of buried waste. The deepest drilling reached a depth of 43.3 m (SA-106) (Figure 2) but did not reach the dumpsite base (Figure 1). The qualitative interpretation of dark colors, mainly observed in SA-116 (section BB') and SA-106 (section CC'), indicate the presence of organic matter in the waste dumps volumes, thus producing an interpretation of organic matter distributed in an area near the lines of geophysical surveys, to be presented ahead.

Figure 2. Geotechnical soundings with geological interpretations (top) and environmental drill core samples columns (bottom).

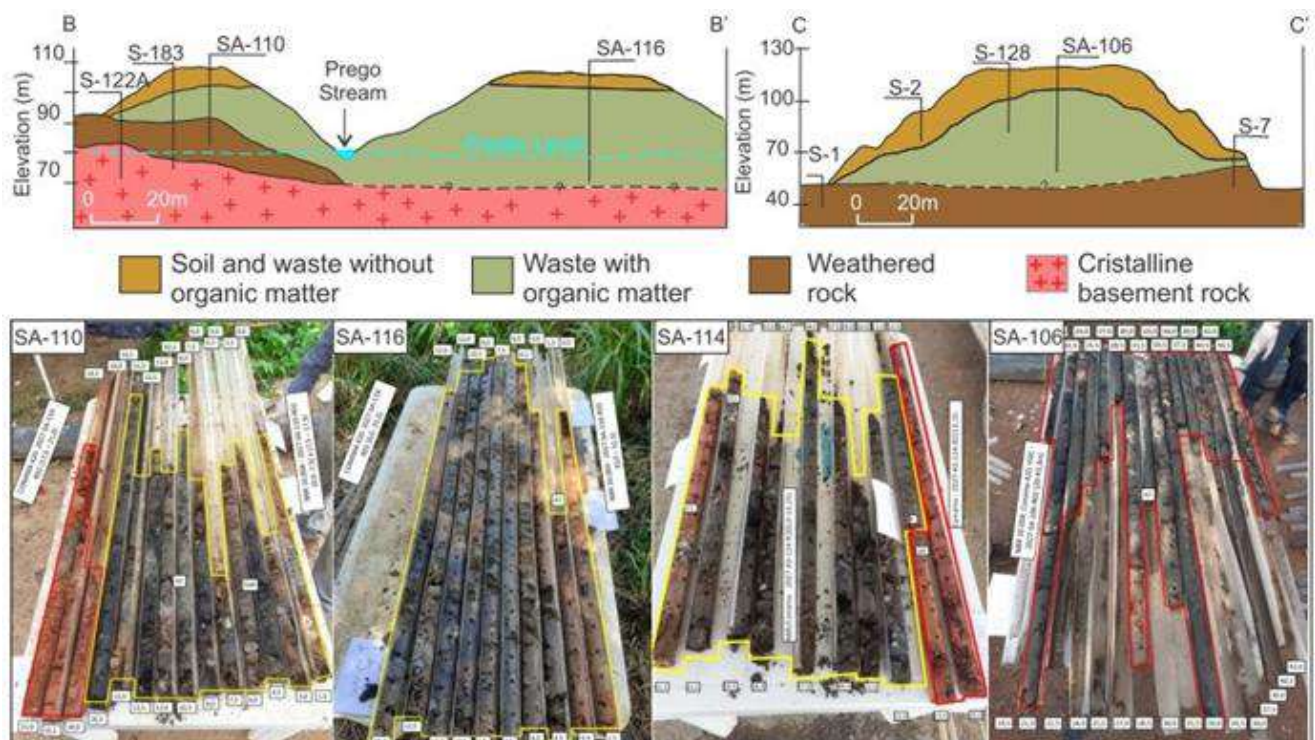
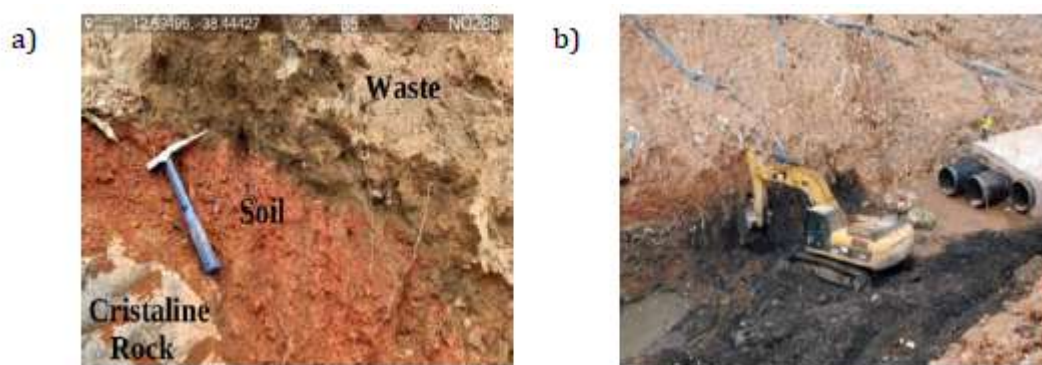


Figure 3. (a) Stratification and (b) excavation of the waste massif.



The study of gas composition was performed during the execution of the drilling and excavation of the waste massif (Figure 3). It was carried out using the “GasAllert MAX XT” and “Gas Phocheck Tiger”. After the underground investigation phase, the area was excavated to remove some waste and implement the subway station and inter-state bus terminal.

3.2. Electrical survey

The electrical resistivity method determines the response of the targets of interest after excitation by an electrical current injected into the subsurface, utilizing a pair of polarizable electrodes and performing measurement of its electrical potential using another pair of electrodes that are moved over the entire profile extension. The measured data are plotted to generate the apparent resistivity pseudosection that produces the true resistivity mapping distribution in the subsurface after the mathematical inversion procedure.

The acquisition of ERT data was realized in the direction of profile AA’ (see Figure 1), using the dipole-dipole arrangement, with spacing between electrodes of 30 m and profile length of 420 m. The equipment used for this acquisition was SYSCAL PRO, by IRIS INSTRUMENTS. The apparent resistivity data were treated using Zondres2D (Zond Geophysical Software).

3.3. MAG survey

The magnetic method enables obtaining information regarding the magnetic susceptibility distribution in the subsurface and identifies materials with different values of this property. Within the boundary of the CDWD (Figure 1), 318 magnetic stations were deployed with an average spacing of 5 meters. These stations were distributed in 11 lines with a spacing ranging from 8 to 12 meters. A

handheld portable GPS determined the geographical position of these stations. The magnetic readings were obtained with a proton precession magnetometer of GEM Systems Inc, model GSM – 19.

To monitor daytime variation, measurements were performed at a base station located at a fixed point outside the survey region, with measurements taken every 10 min. For processing the acquired data, initially, an interpolation was applied to the measured data at the base station, which was then used for the diurnal correction of the measuring stations. Then, the International Geomagnetic Reference Field (IGRF) was removed, leaving only the local magnetic influences. After this initial treatment, the acquired data were plotted as an isovalue contour map generated through an interpolated grid using the minimal curvature method. Subsequently, pole reduction (PR) was applied, which is a mathematical technique for removing the effects of tilt and declination of the magnetic field, analytic signal analysis (ASA), which aims to reinforce the edges of magnetic anomalies by direct derivatives of the magnetic field, and the Euler's deconvolution (ED), that produces information about the depth to the top of magnetic bodies. We finalized the magnetic modeling by integrating geometric information from PR, ASA, and ED interactively. All magnetic maps presented here, and their modeling, were generated using Geosoft™ packages.

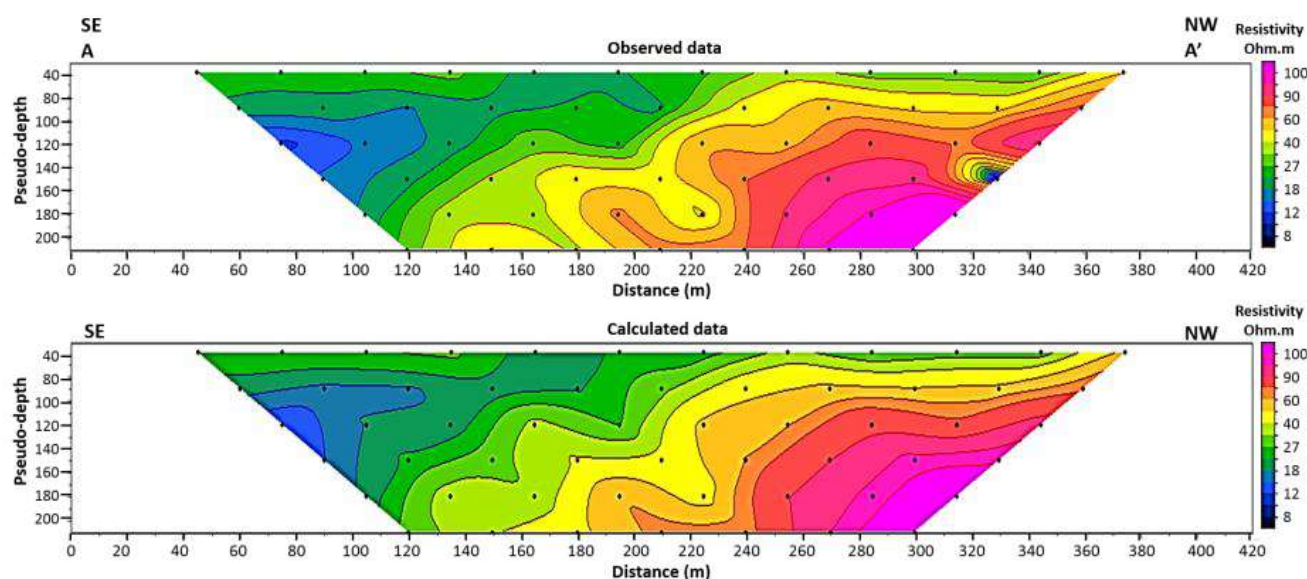
4. RESULTS AND DISCUSSION

The analysis and discussion involve presenting landfill geometric models, magnetics results, geoelectric sections with indications of areas with potential leachate storage, construction demolition waste, biogas, and a 2D integrated interpretation, showing the geomagnetic modeling of anomalous zones.

4.1. *Geoelectric interpretation*

The apparent resistivity section (Figure 4), measured at the electrical profile in the landfill area (AA' profile), showed values ranging between 5.87 and 501 $\omega.m$. Regions containing biogas show slightly higher values, while the presence of leachate tends to decrease them.

Figure 4. Apparent resistivity measured data in AA' profile (top) and calculated data (bottom).

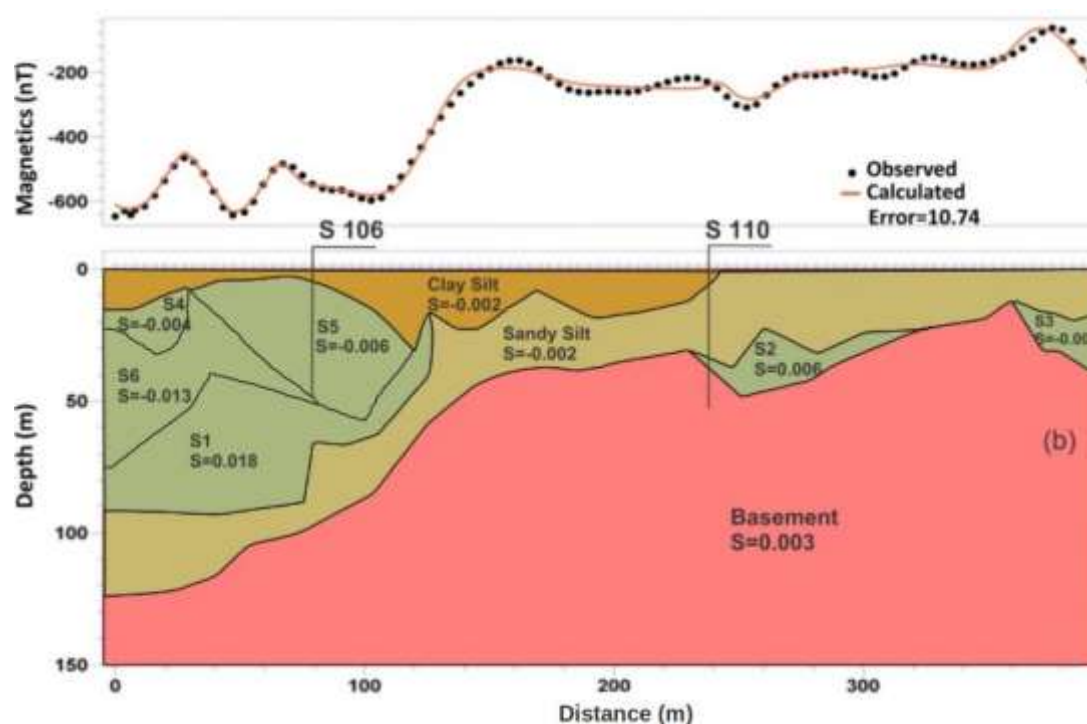


The calculated data section visually confirm the quality of inversion fitting. The interpreted geoelectric section (Figure 5a) clearly describes a wide variation in the electrical properties throughout the dumpsite. This section was obtained from the inversion method applied to the apparent resistivity data. Figure 5a, between 240 and 370 m (NW), shows a gradual increase in surface resistivity up to the maximum depth of profile AA'. A similar trend can also be seen in its shallowest part, between 40 and 240 m (SE), with the inverse of this trend in greater depths due to more conductive sub-areas at depths between 10 to 60 m. In this section and according to the information from the SPT surveys, the low resistivity values (3 to 63 $\Omega\cdot\text{m}$) located between 0 and 50 m deep are interpreted as intercalated layers of silt – sandy, clayey, altered basement, dispersed food waste, and construction waste – demolition or municipal waste. It is suspected that in this interval, subzones with a resistivity between 40 and 63 $\Omega\cdot\text{m}$ are associated with landfill gases (methane, carbon dioxide, i.e.) generated from the anaerobic decomposition of possible organic waste from the landfill (biogas), interspersed with silt-to-clay sediments.

Also noteworthy is the presence of a geoelectric anomaly between 240 and 320 m (NW), with a depth of ≈ 35 m (from 45 to 63 $\Omega\cdot\text{m}$), which is associated with an armhole of waste interspersed with clay sediments and altered basement, which may contain a significant volume of biogas in its most superficial part. Ehirim, Ebeniro, and Olanegan (2009), Iyoha, Akhirevbulu, Amadasun, and Evboumwan (2013) and Tsourlos, Vargemezis, Fikos, and Tsokas (2014), also interpreted high resistivity zones associated with landfill gasses. Heikamp and Nover (2003), states that hydrostatic pressure

reduces the number of fractures, inducing variations in the pore geometry and, therefore, altering the general electrical conductivity (vol-umetric), closing and opening conduction paths, causing a decrease in permeability and electrical conductivity of rocks. Therefore, electrical resistivity increases with increasing hydrostatic pressure. In addition, the increase in this pressure causes degassing of the landfill gases, which can migrate and be expelled into the atmosphere or accumulated in pockets when favorable geological conditions preexist.

Figure 5. (a) Inverted 2D geoelectric section and (b) Magnetic interpretation of the profile AA'.



Thus, in this study, it is interpreted that very high resistivity values associated with more superficial layers can be attributed to the degassing of biogas. Another factor that draws attention in Figure 5a is the rounded shape of the shallower resistive anomalies, suggesting the formation of gas pockets. This model also suggests that a deep zone (between 15 and 80 m) and of greater resistivity (90 to 180 $\Omega.m$) may be associated with the basement of that region and that the conductive sub-areas, with 3 to 10 $\Omega.m$ and depth of 10 to 50 m (between 40 and 200 m – SE), may be associated with the presence of more conductive residues (such as leachate) or demolition residues of metallic construction, interspersed with a layer of clayey to sandy silt.

4.2. Magnetic interpretation

The main developmental stages for the magnetic mapping of the anomalous areas of this study were constituted by the terrestrial magnetometric survey, quality control, and processing of the acquired magnetic data, data grid for the generation of magnetic maps, determination of the main gradients (anomalies) and the correlation between the results of the magnetometric anomalies and known/expected characteristics of the research site.

The total field anomaly map in Figure 6 (top left) was generated after the processing step, involving the application of daytime variation correction and IGRF (International reference geomagnetic field). The IGRF of the area at the time of the survey was: the magnitude of the ambient field equal to 24.758 nT, declination of 23.45 ° W and inclination of 30.58 °. Strong positive and negative values mark this map due to the region's very shallow magnetic sources –magnetic pebbles. The high-frequency effects of low and high-amplitude anomalies distributed along the map may represent metallic objects or features very close to or on the surface, which can lead to misinterpretation. To avoid the interference of those values, we describe the variation of the residual magnetic data for the entire map after removing by filter application in Figure 6 (top right). This result represents the variation of the residual magnetic data of the research area's northern, central, and southern parts.

The magnetic data are composed of contributions from shallow and deep sources. To highlight only one set of these sources, it is necessary to apply techniques to separate local and shallow anomalies from deep and regional anomalies. Given the residual character of this survey (near-surface zones interpretation), we use the power spectrum to determine the wavenumber cut interval and the Butterworth (bandpass) filtering method.

Figure 7 shows the radially averaged power spectrum and estimated average depth for the top of magnetic materials from the study region. According to this spectrum, it could be estimated that the top of magnetic sources is between 3 to 35 m of depth. This suggests that magnetic sources located in this interval correspond to the presence of construction residues containing metallic materials since the depth of the basement in this region is between 50 and 60 m (data obtained via SPT) and that there is a thin covering of sedimentary material that covers such wastes. Shallow sources (high-frequency sources above 3 m) were interpreted as generated by very shallow bodies and were attenuated by applying the mentioned filter. The residual field magnetic map (Figure 6, top right) was generated considering the preservation of the target depth range of the magnetic sources (3 and 35 m). Suzan

Figure 6. Total field anomaly map (top left), Residual magnetic field map (top right), Pole reduction map (bottom left), and Analytic signal amplitude map for the studied area (bottom right).

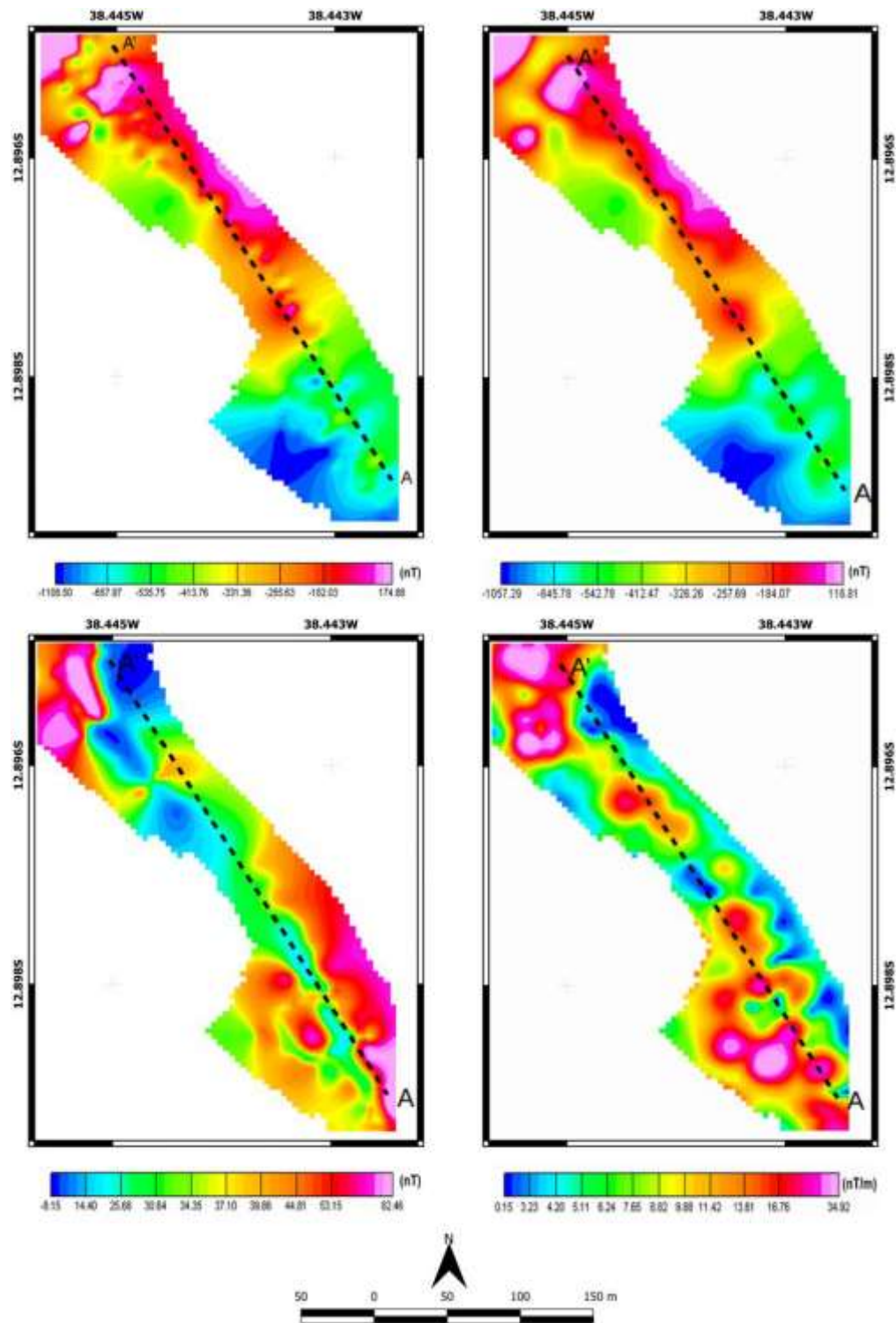
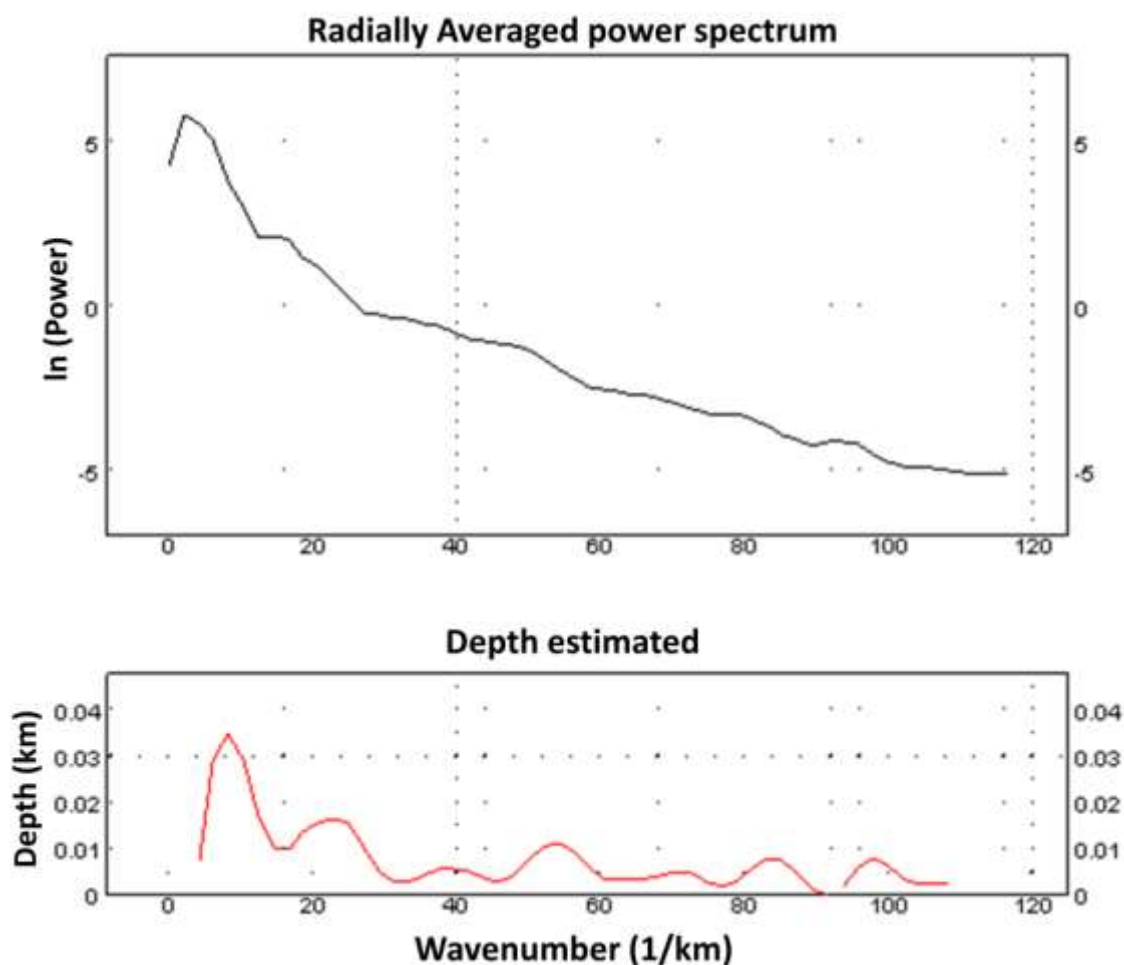


Figure 7. Radially averaged power spectrum of the anomalous magnetic field and the estimates of the depths to the top of anomalous sources.



From the filtered total magnetic field values obtained, we proceed to apply the pole reduction and subsequently generate the analytical signal amplitude (ASA) map for the studied area (Figure 6, bottom left and right). According to Blakely (1996), in the ASA maps, the maximum is located on the edges/limits of the magnetic sources, induced magnetization, or remnant magnetization. Therefore, Figure 6 (bottom right) was used to understand the edges or boundaries of the causative sources, positioning them more appropriately. This figure shows circular anomalies that present higher values, around 25 nT, placed precisely in the region with the highest waste accumulation in the landfill and, because of that, with higher topographic elevation in its northern, southern, and central parts. Due to the non-magnetic character of the predominant sedimentary material in this region, this anomaly indicates that the values of higher magnetic intensity can represent an intense concentration of metallic residues deposited in these ditches. Anomalies caused by these residues appear irregularly throughout the landfill area.

4.3. Integrated interpretation

To help define a new program for drilling and reusing the landfill area, the interpretation of the electrical anomalies (Figures 5a) was performed together with the ASA map (Figure 6, bottom right) and the magnetic modeling along the profile AA' (Figure 5b). Although SPT data existed preliminary, the area was not subject to detailed geological mapping. Therefore, there are no objective restrictions, and the study had to rely on insufficient knowledge of lithology, assuming published values of physical properties.

Figures 5a and b show the improved interpretations of the contrasts observed on the magnetic map in Figure 6, lithologies presented in the sections of SPT, and preliminary interpretations performed in the previous subsections. Thus, the following zones were defined in Figure 5a:

- Landfill gases zone: present in a narrow band at the beginning of the profile AA' (between 40 - 70 m and between 80 - 130 m of distance), which presents low magnetic intensity (4.2 to 6.2 nT/m) and high resistivity (40 to 63 Ω .m);
- Leachate and construction-demolition waste zone (metallic): present below the Landfill gases zone (between 40 and 150 m), which explains the decrease in resistivity (3 to 10 Ω .m) and increase in magnetic intensity (17 to 30 nT/m) below this region, and between 170 and 200 m that indicates deposition of a smaller volume of construction material at a depth of 20m;
- Construction-demolition waste zone (non-metallic): present between 140 and 240 m on the surface part of this profile, and that explains the increase in resistivity (40 to 158 Ω .m) and decrease in magnetic intensity (0.15 to 4.20 nT/m);
- Armhole zone filled by Leachate and construction-demolition waste (metallic and non-metallic): characterized by resistivity values (30 to 63 Ω .m) and magnetic intensity (9 to 12 nT/m) intermediate magnetic intensity and located between 240 to 330 m from the beginning of the profile;
- Basement: as mentioned, it starts at the distance of 90 m and is uplifted in the NW direction, varying between 15 and 80 m depth. A large armhole possibly filled by leachate

and construction-demolition waste zone (metallic and non-metallic) stands out in its northwestern part.

Figure 5b represents the magnetic interpretations along the profile AA' of the re-sidual magnetic map. This quantitative magnetic interpretation used Euler Decon-volution and geoelectrical interpretation as initial parameters. The Euler Decon-volution determines the causative body position based on the fields and their gra-dients analysis, constraints on the geometry of the causative bodies. The magnetic model does not consider remanence or self-demagnetization. The quality of the depth estimation depends mainly on the choice of the proper structural index, which is a function of the geometry of those bodies and adequate sampling of the data (Williams, Fairhead, & Flanagan, 2005).

This study adopted a structural index of 0.5 since it gives the most accurate depth estimates for the magnetic data where the typical source structures are of finite offsets. Well-clustered Euler solutions were obtained at a shallow depth of approx-imately 5-40 m. The parameters obtained from the Euler Deconvolution and the geometry of geoelectric interpretations were used as the startup parameters for 2D forward magnetic modeling. The modeling allowed us to define the susceptibil-ity values of nine magnetic domains. Below the first stations, Figure 6b shows three magnetic domains (S4, S5, and S6) that present low values of magnetic sus-ceptibility, suggesting the presence of diamagnetic materials in a depth ranging between 2 and 70 meters in depth. Below that same region, the S1 domain presents the highest susceptibility value (0.018 CGS), indicating the presence of ferromagnetic material deposits at a depth ranging between 10 and 90 m. At the same distance, above and below these domains, the clay-silt and sandy-silt do-mains are interpreted with susceptibility of 0.001 and -0.002 (CGS), respectively, representing the sedimentary material of landfill cover. S2 (0.006 CGS) and base-ment (0.002 CGS) domains to the northern of the profile show an increase in sus-ceptibility values. They may represent the presence of another deposit of ferro-magnetic material (between 28 and 42 m deep) and that of the basement (between 12 and 114 m deep). Finally, at its NW end, the profile shows the S3 domain, which can also be associated with diamagnetic materials.

A comparison between the magnetic and geoelectric models (Figure 5a e figure 5b) clearly shows position matching between interpreted magnetic domains and resistivity anomalies. This visual correlation indicates that the diamagnetic do-mains S4, S5, and S6 coincide with zones that present intermediate resistivity val-ues, a good indicator of the presence of gas in this region. The magnetic domain S1 coincides with a conductive anomaly, indicating a probable deposit of metallic ma-terials.

Despite being less magnetic, the S2 domain associated with medium to high resistivity is interpreted as the accumulation of metallic and non-metallic residues, which may be related to gases. Finally, we highlight that the top of the basement as interpreted here correlates well with the magnetic domains and the resistive zone, which shows the coherence of the proposed interpretations.

5. CONCLUSION

The survey performed in the present study helped better characterize the deposited materials and subsurface geology of CDWD. The magnetic data improved the resolution of neighboring bodies and supplied information along the profile and the 2D survey accomplished. The ERT method added information about the contrast of resistivity and better defined the location of the causative bodies, while the SPT data gave an initial indication of the distribution of the landfill materials.

Due to the character of construction and demolition residues, the values of higher magnetometric intensity indicate an intense concentration of metallic residues deposited in ditches located between 5 and 40 m deep above the basement. The bottom of landfill and the top of basement are between 15 and 60 m deep. The geoelectric and magnetic modeling produced resistivity and susceptibility anomalies in which higher resistivity values associated with low susceptibility values, indicating possible pockets of biogas in lower or higher concentrations in shallower portions of the AA' profile, at a maximum depth of around 20m. These gases may be disseminated in more porous materials, such as the sand fraction sediment types. The high conductivity values revealed by the geoelectric investigation associated with the increase in the susceptibility values suggested the presence of percolated liquids in the solid mass, possibly represented by leachate at a depth ranging from 15 to 70 meters in the southern portion of the landfill.

The modeling results revealed that the southern portion of the landfill concentrates most of the geoelectric and magnetic anomalies in the solid mass, indicating a concentration of the highest levels of biogas and leachate. However, it is worth noting that the landfill in question differs from a landfill of solid urban waste in the production and presence of biogas. This is associated with up to 5 % of organic waste packaged together with inert construction and demolition waste. Finally, the results propose using the methodology applied here as part of the drainage program and monitoring possible gases and leachate generated in these landfills to avoid accidents, as well as for the environmental and

geotechnical monitoring of other similar areas. The geophysical guidance can avoid contamination of soils and water bodies in the surroundings of this landfill and ensure the stability of their solid mass.

REFERENCES

- ABNT (2001). Nbr 6484: Solo sondagens de simples reconhecimento com spt - método de ensaio. (<https://www.abnt.org.br/>)
- ABNT (2004). Nbr 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. (<https://www.abnt.org.br/>)
- Belghazal, H., Piga, C., Loddo, F., Messari, J.S.E., Touhami, A.O. (2013). Geophysical Surveys for the Characterization of Landfills. *Inter- national Journal of Innovation and Applied Studies*, 4 (2), 254–263, Retrieved from <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article= IJIAS-13-207-09>
- Bichet, V., Grisey, E., Aleya, L. (2016). Spatial characterization of leachate plume us-ing electrical resistivity tomography in a landfill composed of old and new cells (Bel-fort, France). *Engineering Geology*, 211, 61–73, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.06.026>
- Blakely, R.J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge university press.
- Conama (2002). Conselho nacional do meio ambiente. Ministério das cidades, se-cretaria nacional de habitação. resolução no 307, de 5 de julho de 2002. ([https://ceteb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002 Res CONAMA 307.pdf](https://ceteb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002%20Res%20CONAMA%20307.pdf))
- Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (Eds.). (2009). *Planning for climate change: strategies for mitigation and adaptation for spatial planners*. Routledge.
- Costanzo-Alvarez, V., Aldana, M., Trigo-Ferre, R., Jacome, M., Galatro, D., Izarra, C., Amon, C.H. (2022). Combining a geoelectrical survey with integrated groundwater quality data to map the spatial distribution and temporal variations of a leachate plume in a closed landfill (Southern Ontario, Canada). *Environmental Earth Sciences*, 81 (20), 498, [https:// doi.org/10.1007/s12665-022-10622-3](https://doi.org/10.1007/s12665-022-10622-3)
- Dumont, G., Pilawski, T., Dzaomuho-Lenieregue, P., Hiligsmann, S., Delvigne, F., Tho-nart, P.,...Hermans, T. (2016). Gravimetric water distribution assessment from geoe-lectrical methods (ERT and EMI) in municipal solid waste landfill. *Waste manage-ment* , 55 , 129–140, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.013>
- Ehirim, C.N., Ebeniro, J.O., Olanegan, O.P. (2009). A geophysical investigation of solid waste landfill using 2-D resistivity imaging and vertical electrical sounding methods in Port Harcourt municipality, Rivers State, Nigeria. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 10 (2), 604–613, 2009.
- El-Salam, M.M.A., & Abu-Zuid, G.I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of advanced research*, 6 (4), 579–586, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.02.003>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing coun-tries: A review of global issues. *International journal of environ- mental research and public health*, 16 (6), 1060, <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>

- Flores-Orozco, A., Gallistl, J., Steiner, M., Brandstätter, C., Fellner, J. (2020). Mapping biogeochemically active zones in landfills with induced polarization imaging: The Heferlbach landfill. *Waste management*, 107, 121–132, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.001>
- French, R.B., Williams, T. R., Foster, A. R. (1988). Geophysical surveys at a superfund site, Western Processing, Washington. Symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems 1988 (pp. 747–753).
- Frid, V., Doudkinski, D., Liskevich, G., Shafran, E., Averbakh, A., Korostishevsky, N., Prihodko, L. (2010). Geophysical-geochemical investigation of fire-prone landfills. *Environmental Earth Sciences*, 60, 787–798, <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0216-0>
- Gibson, P., Lyle, P., George, D. (1996). Environmental applications of magnetometry profiling. *Environmental Geology*, 27, 178–183, <https://doi.org/10.1007/BF00770430>
- Gonçalves, J.T.D., Botelho, M.A.B., Machado, S.L., Netto, L.G. (2021). Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil. *Environmental Challenges*, 5, 100220, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- Heikamp, S., & Nover, G. (2003). An integrated study on physical properties of a KTB gneiss sample and marble from Portugal: Pressure dependence of the permeability and frequency dependence of the complex electrical impedance. *Thermo-Hydro-Mechanical Coupling in Fractured Rock*, 929–936, <https://doi.org/10.1007/PL00012573>
- Hinze, W., Roberts, R., Leap, D. (1990). Combined analysis of gravity and magnetic anomaly data in landfill investigations. *Geotechnical and Environmental Geophysics*, 2, 267–272, <https://doi.org/10.1190/1.9781560802785.2.ch27>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. Washington, DC: World Bank, Washington, DC. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10986/17388> (Accessed 17 august 2023)
- Ibraheem, I.M., Tezkan, B., Bergers, R. (2021). Integrated interpretation of magnetic and ERT data to characterize a landfill in the north-west of Cologne, Germany. *Pure and Applied Geophysics*, 178 (6), 2127–2148, <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02750-x>
- Iyoha, A., Akhirevbulu, O.E., Amadasun, C.V.O., Evboumwan, I.A. (2013). 2D resistivity imaging investigation of solid waste landfill sites in Ikhueniro Municipality, Ikpoba Okha Local Government Area, Edo State, Nigeria. *Journal of Resources Development and management*, 1, 65–69,
- Kanchanabhan, T.E., Mohaideen, A., J., Srinivasan, S., Sundaram, K., Lenin, V. (2011). Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. *Waste Management & Research*, 29 (3), 323–339, <https://doi.org/10.1177/0734242X10366272>
- Lanz, E., Boerner, D.E., Maurer, H., Green, A. (1998). Landfill delineation and characterization using electrical, electromagnetic and magnetic methods. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 3 (4), 185–196, <https://doi.org/10.4133/JEEG3.4.185> Leonard, B. (2003). Solid waste

management and greenhouse gases: a life-cycle assessment of emissions and sinks. Philadelphia, USA: DIANE Publishing.

Lopes, D.D., Silva, S.M., Fernandes, F., Teixeira, R.S., Celligoi, A., Dall'Antônia, L.H. (2012). Geophysical technique and groundwater monitoring to detect leachate con-tamination in the surrounding area of a landfill, Londrina (PR–Brazil). *Journal of en-vironmental management*, 113, 481–487, <https://doi.org/10.1016/j.jen-vman.2012.05.028>

Marchetti, M., Cafarella, L., Di Mauro, D., Zirizzotti, A. (2002). Ground magnetomet-ric surveys end integrated geophysical methods for solid buried waste detection: a case study. *Annals of Geophysics*, <https://doi.org/10.4401/ag-3519>

Martinho, E. (2023). Electrical resistivity and induced polarization methods for environmental investigations: an overview. *Water, Air, & Soil*

Pollution, 234 (4), 215, <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06214-x>

Morita, A., Ibelli-Bianco, C., Anache, J., Coutinho, J., Pelinson, N., Nobrega, J., . . . Wendland, E. (2021). Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. *Waste Management*, 131, 163–176, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.004>

Moura, T., Nery, J., Prado, E., Vieira, C., Mettig Rocha, H., Katzschnher, L. (2022). Ur-ban climatic map of Salvador, Brazil, using a land use pattern methodology. *Cybergeog: European Journal of Geography*, <https://doi.org/10.4000/cybergeog.38634>

Peucat, J.-J., Barbosa, J.S.F., de Araújo Pinho, I.C., Paquette, J.-L., Martin, H., Fanning, C.M., ... Cruz, S. (2011). Geochronology of granulites from the south Itabuna-Salva-dor-Curaçá Block, São Francisco Craton (Brazil): Nd isotopes and u–pb zircon ages. *Journal of South American Earth Sciences*, 31 (4), 397–413, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.009>

Porsani, J.L., Walter Filho, M., Elis, V.R., Shimeles, F., Dourado, J.C., Moura,

H.P. (2004). The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a land-fill site: a case study in SE Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, 55 (3-4), 199–209, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2003.11.001>

Ramos, M., & Martinho, G. (2023). An assessment of the illegal dumping of construc-tion and demolition waste. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100073, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100073>

Roberts, R.L., Hinze, W.J., Leap, D.I., Ward, S.H. (1990). Data enhancement proce-dures on magnetic data from landfill investigations. *Geotechnical and Environmental Geophysics*, 2 , 261–266, <https://doi.org/10.1190/1.9781560802785.ch26>

Santos, F.M., Mateus, A., Figueiras, J., Gonçalves, M.A. (2006). Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method — a case study. *Journal of Applied Geophysics*, 60 (2), 115–125, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.01.002>

Simões, Y.d.S., Silva, E.H.B.C., Araújo, H.A.d. (2018). Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. *Revista Ambiente & Água*, 13, <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2171>

Souza-Oliveira, J.S.D., Peucat, J.-J., Barbosa, J.S.F., Correa-Gomes, L.C., Cruz, S.C.P., Leal, A. B. M., Paquette, J. L. (2014). Lithogeochemistry and geochronology of the sub-alkaline felsic plutonism that marks the end of the Paleoproterozoic orogeny in the Salvador-Esplanada Belt, São Francisco Craton (Salvador, state of Bahia, Brazil). *Brazilian Journal of Geology*, 44, 221–234, <https://doi.org/10.5327/Z2317-4889201400020004>

Teixeira, R. S., Cambier, P., Dias, R. D., Pinese, J. P. P., & Jaulin-Soubelet, A. (2010). Mobility of potentially harmful metals in latosols impacted by the municipal solid waste deposit of Londrina, Brazil. *Applied Geochemistry*, 25(1), 1-15., <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.09.022>

Tsourlos, P., Vargemezis, G.N., Fikos, I., Tsokas, G.N. (2014). DC geoelectrical methods applied to landfill investigation: case studies from Greece. *First break*, 32 (8), <https://doi.org/10.3997/1365-2397.32.8.76968>

Ward, S.H. (1990). *Geotechnical and environmental geophysics: Volume I: Review and tutorial*. Society of Exploration Geophysicists.

Williams, S.E., Fairhead, J.D., Flanagan, G. (2005). Comparison of grid Euler deconvolution with and without 2D constraints using a realistic 3D magnetic basement model. *Geophysics*, 70 (3), L13–L21, <https://doi.org/10.1190/1.1925745>

Zhang, C., Guo, Y., Wang, X., Chen, S. (2019). Temporal and spatial variation of green-house gas emissions from a limited-controlled landfill site. *Environment international*, 127, 387–394, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.052>

Zhdanov, M.S., & Keller, G.V. (1994). The geoelectrical methods in geophysical exploration. *Methods in geochemistry and geophysics*, 31, I–IX, [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(94\)91092-8](https://doi.org/10.1016/0148-9062(94)91092-8)

Zohoori, M., & Ghani, A. (2017). Municipal solid waste management challenges and problems for cities in low-income and developing countries. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 6 (2), 39–48, <https://doi.org/10.7753/IJSEA0602.1002>

Capítulo 2



10.37423/251210532

DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO PARA COM(POR) TERRITÓRIOS GEOPARQUES

Edimundo Almeida da Cruz

Ana Christina Wigneron Gimenes

*Universidade Federal do Espírito Santo.
Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Vitória, ES, Brasil
Universidade Federal do Espírito Santo.
Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Vitória, ES, Brasil*



RESUMO

Ao que se sabe, os territórios protegidos no Estado do Espírito não têm como pressuposto fundamental seus atributos abióticos, sítios de geodiversidade e geossítios singulares, ou é de forma insuficiente e periférica, subordinado a alguma espécie do gênero unidades de conservação estabelecido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC. Assim, há que buscar alternativas político institucionais para promover um modelo de desenvolvimento local que seja socialmente justo, economicamente viável e ecologicamente sustentável, o que converge com as premissas da metodologia Geoparques da Unesco. Até dezembro de 2024, havia 69 unidades de conservação públicas no Estado do Espírito Santo, sendo 12 destas geridas em nível de governo federal, 17 em nível de governo estadual e 40 geridas em nível de governos municipais. Destas UC's públicas, 40 pertencem ao grupo de proteção integral (58%) e 29 ao grupo de uso sustentável (22%). Em relação ao quantitativo de Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN's, que são unidades de conservação privadas, havia nesse Estado, 60 UC's. Para quantificação e valoração da geodiversidade foi selecionada a metodologia Geossit, a qual, possibilita definir prioridade de proteção de sítios geológicos em ordenamentos distintos em função do valor científico, risco de degradação, valor educativo e valor turístico. Entre 16 geossítios e sítios de geodiversidade inventariados e subscritos ao CPRM, 11 (68,8%) destes correlacionam-se com unidades de conservação já instituídas. Nesse universo amostral (n=16), constatou-se correlação positiva de 68,8% com relação a sobreposição dos mesmos com unidades de conservação instituídas. Em prosseguimento a pesquisa, espera-se encontrar boa correlação entre elementos representativos da geodiversidade e características singulares da paisagem que justificam a criação de unidades de conservação, em seus diferentes grupos e categorias, diagnóstico que pode contribuir para melhorar o nível de conhecimento em geociências para que seja possível conservar mais e melhor.

Palavras-chave: Geodiversidade, Geossit, Geossítios, Geoconservação, Paisagens.

1 INTRODUÇÃO

A área de abrangência espacial desse estudo é o Estado do Espírito Santo, em sua porção continental, excetuado as unidades de conservação localizadas em áreas marinhas e oceânica. Fica na Região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 17°30'S e 21°30'S e meridianos 39°30'W e 42°00'W. Possui uma área de 46.095 km², tendo como limite Leste o Oceano Atlântico Sul, Oeste o Estado de Minas Gerais, Norte o Estado da Bahia e Sul o Estado do Rio de Janeiro.

Ao que se sabe, os territórios protegidos nesse Estado, não têm como pressuposto fundamental seus atributos abióticos, sítios de geodiversidade e geossítios singulares, ou é de forma insuficiente e periférica, subordinado a alguma espécie do gênero unidades de conservação estabelecido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Brasil, 2000), realidade que requer ações no sentido de rever determinadas práticas com vistas a ampliar o acervo de possibilidades de conservação, com ganhos reais em termos de eficiência, efetividade e eficácia.

Unidades de conservação, ora abreviado como UC's, são áreas de importância ambiental grafadas em caráter de perpetuidade, para as quais há a possibilidade de permanência e de continuidade de pesquisas no interior do perímetro delimitador das mesmas, possibilitando o monitoramento comparativo ao longo do tempo. Infere-se que estas sirvam como indicadoras de áreas portadoras de atributos relevantes da geodiversidade, pela perspectiva da conservação das características bióticas e também abióticas.

Considerando à importância ambiental das áreas naturais protegidas ou não, ora recobertas com fragmentos florestais remanescentes e com relativa integridade em seu patrimônio genético, face às pressões e ameaças que intensificam a cada dia, há que buscar alternativas político institucionais para promover um desenvolvimento local que seja socialmente justo, economicamente viável e ecologicamente sustentável, estratégia de desenvolvimento territorial convergente com as premissas da metodologia geoparques da Unesco. No Brasil a metodologia foi adaptada pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM, a qual sistematizou o roteiro metodológico Geossit (Geossit, 2025).

Entre os critérios para submissão de candidatura de territórios geoparques a Unesco, é desejável que se tenha ao menos uma unidade de conservação stricto sensu no perímetro elegível, o que remete a essa pesquisa acerca do potencial das UC's capixabas para compor tais áreas. Enquanto ator ativo, o geoparque deve contribuir para uma maior compreensão das populações acerca dos processos e

dinâmicas geológicas que ocorrem em seu território, desde o passado até o presente, e quando possível, possibilitar inferências e tendências para o futuro.

A abordagem metodológica é corroborada pelo Programa Internacional de Geociências e Geoparques da Unesco (Unesco, 2025) para aplicação em territórios candidatos a obtenção de aprovação do direito de uso da marca Geoparques Globais da Unesco®, chancela que é representada no Brasil pela CPRM, proponente do roteiro metodológico Geossit (Geossit, 2025). Nesse trabalho o roteiro metodológico Geossit é denominado metodologia Geossit.

A plataforma Geossit foi concebida, inicialmente, com o propósito de atender a demanda de cadastro dos sítios geológicos do “Projeto Geoparques”, iniciativa do CPRM com o objetivo de inventariar o patrimônio da geodiversidade brasileira. Posteriormente, devido a necessidade de celeridade no intercâmbio de informações e disponibilização de dados, foi estruturada a plataforma online Geossit (Geossit, 2025).

A metodologia Geossit possibilita definir prioridade de proteção de sítios geológicos em ordenamentos distintos em função do valor científico, risco de uso/degradação, valor educativo e valor turístico, conforme procedimento operacional proposto por Garcia-Cortés & Carcavilla, 2009; Brilha, 2016; Geossit, 2025.

Não obstante a possibilidade de aplicação da metodologia Geossit a geodiversidade como um todo, o recorte espacial ora restrito as UC's adequam-se a determinados pressupostos, como a relação entre geodiversidade e biodiversidade, vínculo inferido por pesquisadores das geociências (Sharples, 1993; Nascimento et al., 2008; Moreira e Vale, 2018; Mansur, 2018), mas que ainda precisa de mais estudos.

Conforme metodologia Geossit, cada critério de avaliação apresenta um número específico de parâmetros com pesos percentuais distintos. Para cada critério, seleciona-se o parâmetro mais próximo à realidade do local em avaliação, sendo valorados com 4, 3, 2 ou 1 pontos. Os critérios do grupo valor científico são valorados com 4, 2 ou 1 pontos. Para os casos onde nenhum dos parâmetros se mostra adequado, considera-se a opção “não se aplica”, sendo atribuída a pontuação zero.

No presente trabalho, tem se como pressuposto que UC's sirvam como indicadoras de atributos relevantes da geodiversidade e da biodiversidade. Infere-se que no Estado do Espírito Santo, atributos paisagísticos, sítios de geodiversidade e geossítios de valor nacional ou internacional possam ser identificados, mapeados e caracterizados em seu potencial para compor territórios geoparques, em

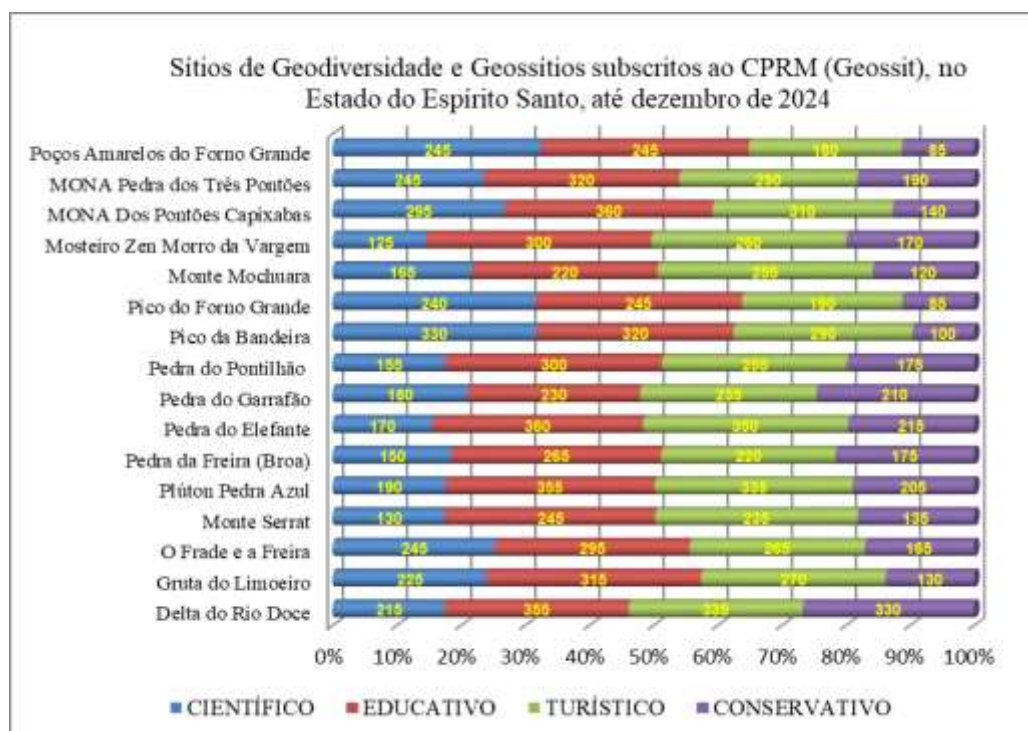
conformidade com a proposta Unesco e Geossit, o que constitui o objetivo macro da pesquisa em desenvolvimento.

2 METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Para diagnóstico do potencial das UC's do Estado do Espírito Santo para compor territórios geoparques, tem se alguns requisitos para seleção de áreas. É preciso que as áreas elegíveis tenham: 1) Singularidade na representação de sua tipologia ou categoria (paleontológica, estratigráfica, tectônica, mineralógica, geomorfológica, estrutural ou outra); 2) Importância na caracterização de processos geológicos-chave regionais ou globais, períodos geológicos e registros expressivos na história evolutiva da Terra; 3) Expressão cênica; 4) Bom estado de conservação; 5) Acesso viável por diferentes modais de logística; 6) Existência de mecanismos ou possibilidade de criação de mecanismos que assegure conservação para o sítio de geodiversidade ou geossítio; e, 7) Viabilidade cooperativa para a constituição formal de uma sociedade gestora do território geoparque a ser instituído.

Nesse sentido, o diagnóstico buscou identificar atributos das áreas perpassadas pelas UC's que preenchesse também os requisitos necessários para compor territórios geoparques. O critério fundamental para delimitação de territórios geoparques é a existência de patrimônio geológico relevante, enquanto amostra singular da geodiversidade (Figura 1).

Figura 1: Lista de sítios de geodiversidade ou geossítios inventariados e subscritos ao CPRM, até dezembro de 2024, por grupos de critérios (cores) e quantitativo de pontos (números).



Com esse enfoque, inicialmente, efetuou-se a leitura de 16 inventários subscritos ao Geossit e disponíveis para download na plataforma WEB (<https://www.sgb.gov.br/geossit/>). A avaliação desses relatórios/inventários teve o objetivo de esclarecer os detalhes da metodologia Geossit desenvolvida pelo CPRM (Figura 1).

Entre os 16 geossítios e sítios de geodiversidade inventariados e subscritos ao CPRM, 11 (68,8%) destes correlacionam-se com UC's já instituídas. Apenas 5 destes (31,2%) não eram protegidos por unidades de conservação instituídas nos termos do SNUC (Brasil, 2000). Entre as 16 subscrições, 7 foram avaliados como relatórios (inventários) consistidos, que pode ser entendido como propostas aprovadas; e outros 9 se encontram em avaliação pela Comissão de Paleontologia e de Sítios Geológicos – SIGEP (Geossit, 2025).

A partir da análise dos inventários subscritos, constatou-se boa correlação entre elementos representativos da geodiversidade e características singulares da paisagem que justificam a criação de UC's, em seus diferentes grupos e categorias, diagnóstico que pode contribuir para melhorar o nível de conhecimento em geociências para que seja possível conservar mais e melhor.

Com esse enfoque, foram selecionadas 123 unidades de conservação (n=123), excetuadas as UC's que não disponibilizou os limites georreferenciados na base de dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC, bem como, às localizadas em mares e oceanos devido a dificuldade de acesso as mesmas por transporte rodoviário, entre outras especificidades. Os arquivos vetoriais das UC's administradas em nível de governo estadual foram obtidos no site do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA, 2025).

Inicialmente, os arquivos vetoriais contendo os limites das áreas selecionadas foram extraídos do banco de dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação-CNUC, que armazena dados sistemáticos contendo informações básicas acerca das unidades de conservação legalmente instituídas no Brasil, incluindo informações em todos os níveis de governo, inclusive áreas particulares como reservas e RPPN's.

Após a compartimentação espacial dos perímetros das UC's instituídas, foi realizada a extrapolação dos limites das mesmas de forma a constituir retângulos. Essa operação foi realizada em Sistemas de Informação Geográficas (SIG's). Após a compartimentação, elege-se-á um (1) sítio sobreposto a área retangular que apresentem potencial como geossítio ou sítios de geodiversidade, distinção essa realizada com base na gradação de seu valor científico (Brilha, 2016).

O diagnóstico da geodiversidade singular representativa de cada UC perpassada pelo perímetro retangular da área selecionada está sendo realizado com base na avaliação de mapas temáticos como geologia, geomorfologia, geodiversidade, solos, climas e hidrografia. Nessa etapa prioriza se os produtos cartográficos em melhor escala disponível, bem como, a expertise da instituição responsável pela elaboração e divulgação das sínteses. Também os planos de manejo das UC's que os possuem estão sendo consultados.

Em prosseguimento a pesquisa, será realizada a quantificação dos locais representativos da geodiversidade singular de cada uma das 123 unidades de conservação selecionadas. A valoração dos locais de geodiversidade com destaque na paisagem, será realizado em uma tabela Excel adaptada com os critérios listados na plataforma Geossit (Geossit, 2025).

Posteriormente, os dados da planilha de valoração serão interpolados em Sistema de Informações Geográfica – SIG's, com o objetivo de espacializar e compartimentar as áreas com densidade de atributos relevantes da geodiversidade.

Como resultado da interpolação, espera-se a delimitação de uma área com adensamento de sítios de geodiversidade e geossítios relevantes, com base nos critérios de quantificação da metodologia Geossit. A região constituída por um ou mais municípios que concentrar os sítios com maiores valores de geodiversidade será selecionada para prosseguimento da avaliação de elegibilidade a compor territórios geoparques.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Em geociências é consensual a existência de 5 (cinco) conceitos fundamentais para entendimento teórico metodológico do que seja a estratégia de desenvolvimento territorial por meio de iniciativas geoparques, sendo estes: geodiversidade, geopatrimônio, geoconservação, geoturismo e geoparque.

Nascimento et al., 2021 efetuou extensa revisão de literatura acerca dos conceitos e definições dos denominados 5G's e selecionou aqueles que apresentam maior relevo para a comunidade geocientífica, segundo a avaliação do Autor (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese dos conceitos de "5 G's", conforme Nascimento et al., 2021, p. 23.

Geodiversidade	Variedade natural (diversidade) de elementos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, topografia, processos físicos), do solo e hidrológicos. Inclui também suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para as paisagens.	Gray (2013)
Geopatrimônio	Conjunto de geossítios de um território (país, estado, município, UC), ou seja, daqueles locais que melhor representam a geodiversidade de uma região.	Borba (2011)
Geoconservação	Conjunto de ações que visam à conservação dos lugares, processos e elementos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, por meio de atividades de divulgação, levantamento, resgate ou registro.	Prosser (2013)
Geoturismo	Turismo que sustenta e valoriza a identidade de um território, tendo em consideração a sua geologia, ambiente, cultura, estética, patrimônio e o bem-estar dos seus residentes <i>European Geoparks Network</i> .	European Geoparks Network (2011)
Geoparques	Áreas únicas e unificadas, onde sítios e paisagens de significância geológica internacional são geridos com um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável.	UNESCO (2021)

Fonte: Adaptado de Nascimento et al., 2021, p. 23.

Conforme Autor supracitado, “compreender a essência de cada conceito é condição necessária para o fomento de boas práticas e experiências nos territórios elegíveis a obtenção ou manutenção do selo de qualidade geoparques” (Nascimento et al., 2021, p. 7).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estágio em que a pesquisa se encontra, ainda não foi concluída a etapa de valoração e quantificação da geodiversidade perpassada pelas 123 unidades de conservação selecionadas.

Na amostra selecionada, há 69 unidades de conservação públicas, sendo 12 destas geridas em nível de governo federal (ICM-Bio), 17 em nível de governo estadual (IEMA) e 34 geridas em nível de governos municipais. Entre o grupo das 69 UC's públicas, 40 pertencem ao grupo de proteção integral (58%) e 23 ao grupo de uso sustentável (42%). Em relação ao quantitativo de Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN's, que são unidades de conservação privadas, há 60 UC's instituídas, as quais compõem o universo amostral desta pesquisa (n=123).

No grupo das unidades de conservação do grupo proteção integral, em diferentes níveis de gestão (federal, estadual ou municipal), a categoria parque é a que possui maior número de UC's, com 29 unidades no total, os quais abrangem uma área total dimensionada em 0,80% do território do Estado. A categoria monumento natural, com sete áreas e a espécie reserva biológica com seis unidades, são a segunda e terceira categoria em maior número, respectivamente. A espécie MONA recobre uma área que representa 0,65% do território capixaba, enquanto a categoria REBIO recobre uma área dimensionada em 0,85% do Estado.

Em relação ao grupo das UC's de uso sustentável a espécie APA é a categoria mais representativa, com 17 unidades no total, recobrando 0,78% do território capixaba. Nessa espécie, a APA Costa das Algas é a maior do Estado, com 114.954,95 hectares, todavia, cerca de 90% desta área se encontra em ambiente marinho.

Em relação as espécies particulares, as RPPN's são maioria, com 60 unidades, não obstante maior quantitativo, estas ocupam apenas 0,14% do território capixaba. Em geral, as RPPN's apresentam pequena extensão, todavia, a amplitude de tamanhos destas áreas variam entre 0,86 ha e 2.245 ha.

As áreas selecionadas que não se inserem nas categorias de manejo do SNUC (Brasil, 2000) abrangem 23.591,03 ha e recobrem cerca de 0,51% do Estado. A maior destas áreas é a Reserva Natural Vale que possui 23.067,18 ha.

Tendo em vista que a pontuação quantitativa atribuída aos 16 geossítios inventariados comportam níveis de subjetividade inerentes a própria metodologia, essa primeira análise pode ter sido super, ou subestimada. Sendo assim, há possibilidade que um aprofundamento nos níveis de conhecimento dos atributos da geodiversidade capixaba, permita melhorar a pontuação atribuída aos mesmos, bem como, corrigir eventual lacuna quando da avaliação da subscrição dos inventários. Esse é um dos próximos passos da pesquisa em elaboração.

Considerando os inventários do patrimônio geológico disponível na plataforma Geossit, tendo em vista os objetivos de conservação da geodiversidade, considera-se que essa ferramenta metodológica para valoração da geodiversidade é satisfatória. Em linhas gerais, os relatórios avaliados corroboram os pressupostos metodológicos que fundamentam a metodologia geoparques da Unesco, bem como, o roteiro metodológico Geossit.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tem-se que a conservação da natureza abiótica pela perspectiva da geoconservação tem sido pouco compreendido até mesmo entre os agentes conservacionistas do Estado do Espírito Santo, o que torna necessário melhorar o nível de conhecimento em geociências para que seja possível conservar mais e melhor. Entende-se que é preciso ampliar as possibilidades de conservação da natureza pela perspectiva da geodiversidade, esta que antecede, estrutura, abriga e possibilita o desenvolvimento da biodiversidade e da sócio-diversidade em todas as suas formas, tamanhos e habitats.

Nessa direção, tem-se que a metodologia geoparques da Unesco e o roteiro metodológico Geossit, contribuem para a construção do inventário nacional da geodiversidade, com vistas a promoção da ciência, educação e desenvolvimento sócio econômico, pela perspectiva da geoconservação, em convergência com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e com as metas da Agenda 2030.

REFERÊNCIAS

BORBA, André Weissheimer. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, vol. 38, n. 1, p. 3-13, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá outras providências. Presidência da República – Casa Civil, Brasília.

BRILHA, JOSÉ. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, v. 8, n. 2, p. 119-134, 2016.

EUROPEAN GEOPARKS NETWORK. Arouca Declaration. International Congress of Geotourism – Arouca 2011, Arouca, Portugal. Disponível em: http://aroucageopark.pt/documents/78/Declaration_Arouca_EN.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

GARCIA-CORTÉS, Angel; URQUÍ, Luis Carcavilla (2009). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

GEOSSIT - SISTEMA DE CADASTRO E QUANTIFICAÇÃO DE GEOSSÍTIOS E SÍTIOS DA GEODIVERSIDADE. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos - SIGEP. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/geossit/>>. Acesso em: 05 de junho de 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Lei nº 9.462 de 12 de maio de 2010. Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação - SISEUC e dá outras providências.

GRAY, M., 2013. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*: 2. ed.: 1-495. John Wiley & Sons, Chichester.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – IEMA. Unidades de conservação. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: 03 maio de 2025.

MANSUR, K. L. Patrimônio geológico, geoturismo e geoconservação: uma abordagem da geodiversidade pela vertente geológica. In: GUERRA, A. T., JORGE, M. C. O. (orgs). *Geoturismo, Geodiversidade e Geoconservação: abordagens geográficas e geológicas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p.1-49.

MOREIRA, J. C., VALE, T. F. Geoparks: Educação, Conservação e Sustentabilidade. In: GUERRA, A. T., JORGE, M. C. O. (orgs). *Geoturismo, Geodiversidade e Geoconservação: abordagens geográficas e geológicas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 81-110.

NASCIMENTO, M. A. L. ; TAVEIRA, M. S. ; SILVA, M. L. N. ; MEDEIROS, J. L. . Geoparques: Contexto, origem e perspectivas no Brasil. Ministério do Turismo, 2021 (Documento Técnico) Disponível em: <<https://www.gov.br/turismo/pt-br/centrais-de-conteudo>>. Acesso em: 20 junho 2025.

NASCIMENTO, M. A. L. do; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

PROSSER, Colin D. Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. Proceedings of the Geologists' Association, v. 124, nº 4, p. 568-580, 2013.

SHARPLES, Chris. A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purpose. Tasmania: Forestry Commission. 1993. 31 p.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. UNESCO Global Geoparks (UGGp). 2021. Disponível em: <<https://en.unesco.org/global-geoparks>>. Acesso em: 30 nov. 2021.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Guidelines and criteria for national geoparks seeking unesco's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN). França, 2022.

_____. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Rede Global de Geoparques – UGGp, França, 2025. Disponível em: <<https://en.unesco.org/global-geoparks>>. Acesso em: 10 de julho de 2025.

Capítulo 3



10.37423/251210535

UMA ANÁLISE SOBRE A RETIRADA DA AEROFOTOGAMETRIA DO CURRÍCULO ACADÊMICO GEOGRÁFICO

LUCAS VENICIUS NOGUEIRA DOS SANTOS

*Universidade Federal do Pará- UFPA;
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas-
IFCH*

MATEUS DOS SANTOS RODRIGUES

*Universidade Federal do Pará- UFPA;
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas-
IFCH*

LUISA CONCEIÇÃO NUNES DA SILVA

*Universidade Federal do Pará- UFPA;
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas-
IFCH*

LEANDRA VITÓRIA BEZERRA SOUZA

*Universidade Federal do Pará- UFPA;
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas-
IFCH*



RESUMO

A análise a retirada da disciplina de Aerofotogrametria dos currículos dos cursos de Geografia, especialmente nos Planos Pedagógicos de Cursos (PPC) das universidades públicas, com ênfase na Universidade Federal do Pará (UFPA). A Aerofotogrametria, enquanto ferramenta técnico-científica essencial para o geógrafo, possui papel estratégico no mapeamento de áreas urbanas e rurais, na análise ambiental, na avaliação de impactos de desmatamentos e em estudos geomorfológicos. Sua exclusão dos currículos representa não apenas uma perda de conteúdo técnico, mas a fragilização da formação acadêmica do geógrafo frente às exigências do mercado de trabalho contemporâneo, sobretudo nas áreas de geotecnologias, planejamento urbano e consultorias ambientais. Logo, o artigo tem como análise metodológica um questionário distribuído entre docentes, discentes e ex discentes de como a disciplina aerofotogrametria foi retirada do currículo e como isso acabou afetando sua formação como profissional.

Palavras-chave: Aerofotogrametria; Plano Pedagógico de Cursos, Geógrafo, Precarização das Geotecnologias.

1 INTRODUÇÃO

Ao fazermos a análise deste trabalho antes devemos entender e contextualizar os principais sujeitos deste artigo e como eles se relacionam. Portanto, o que seria a Aerofotogrametria? a Aerofotogrametria, segundo o IBGE, é definida como um método de levantamento fotogramétrico que utiliza fotografias aéreas — capturadas por aeronaves tripuladas ou drones — para mapeamento da superfície terrestre. As imagens são obtidas com sobreposição para permitir a restituição tridimensional, o que possibilita gerar mapas, modelos digitais de terreno e ortofotos com precisão.

O ensino Aerofotogramétrico, tendo como base a Universidade Federal do Pará no curso de Geografia e Cartografia, não é obrigatório ou muito menos utilizado como disciplina optativa, seus métodos de ensino e carga horárias são depositados em disciplinas que possuem similaridade conteudistas, sendo tais elas como Cartografia e Cartografia Temática Digital que são ofertadas como matérias obrigatórias na formação do currículo acadêmico dos cursos de geografia Bacharelado e Licenciatura. É necessário compreender que a matéria tem a sua devida importância para a formação geográfica e científica, o Instituto de Geociências da UFPA possui Laboratório de Aerofotogrametria (COMAP) no âmbito da Faculdade de Geologia, o que sugere aplicação prática e pesquisa, mas não indica disciplina específica para Geografia

Outras universidades além da UFPA também são alvo de muito desses casos, como exemplo disso a UFPel é a única instituição com disciplina oficialmente chamada “Aerofotogrametria” integrada à matriz curricular de Engenharia Cartográfica, conforme portais institucionais, que está inserida como matéria obrigatória no currículo em outras universidades, especialmente federais, aerofotogrametria costuma aparecer em disciplinas de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto ou como parte de cursos técnicos ou de extensão, mas raramente como disciplina obrigatória chamada “Aerofotogrametria” dentro da grade de graduação formal.

A disciplina em si demonstra ser bem característica de cursos como Geografia, Geologia e Engenharia, porém na realidade a matéria acaba sendo descartada do Planos Pedagógicos de Cursos (PPC), isso porque, a adoção de currículos mais flexíveis e generalistas tem privilegiado abordagens amplas e teóricas em detrimento de conteúdos técnicos aplicados, como a Aerofotogrametria. Essa mudança curricular visa maior adaptabilidade e multidisciplinaridade, mas frequentemente ignora saberes técnicos essenciais à atuação profissional. Tal tendência desvaloriza ferramentas como levantamentos aéreos, restituição fotogramétrica e interpretação de imagens aéreas. (GIRARDI-2010)

Segundo, Pereira em sua obra “OS DESAFIOS COM A CARTOGRAFIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE GEOGRAFIA”, A produção e aplicação do ensino técnico dependem de professores capacitados e laboratórios bem equipados. Estudos sobre desafios do ensino de Cartografia na Geografia apontam lacunas na formação docente e escassez de recursos como estereoscópios, softwares, imagens e equipamentos práticos. Sem esses recursos, a disciplina torna-se impraticável ou superficial, contribuindo para seu esvaziamento.

Diante disso, A diminuição do ensino da Aerofotogrametria nos cursos de Geografia não representa apenas uma reorganização curricular — ela também reflete o sucateamento da formação técnica, a falta de investimento, a precarização do ensino público e uma perda significativa de protagonismo dos geógrafos frente aos demais profissionais. Reverter essa trajetória exige repensar políticas curriculares, fortalecer capacitação docente, investir em laboratórios e valorizar conteúdos técnico-aplicados como parte da base formativa em Geografia.

2 METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A metodologia utilizada foi retirada com base de dados qualitativas, quantitativas e estudos acadêmicos no geral. Ao utilizarmos a plataforma Google Forms no dia 27/06/2025 para desenvolver um questionário com perguntas relacionadas a matéria Aerofotogrametria tais elas como: Pergunta 1 - você sabe o que é Aerofotogrametria? Pergunta 2- Você utiliza ou já utilizou o conhecimento Aerofotogramétrico profissionalmente? Pergunta 3- De que forma você considera que esta matéria seja importante no currículo acadêmico geográfico? Pergunta 4- Você teria condições de aplicar seus conhecimentos de forma segura da matéria, na sua área profissional atuante, se sim, qual seu nível de conhecimento atual?

O questionário após desenvolvido foi aplicado e repassado nos dias 02/07/2025 até 09/07/2025, após a divulgação para professores do curso de geografia, alunos dos demais anos e ex-alunos que tiveram sua formação em geografia pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

Objetivemos como resultado que a maioria dos participantes do questionário são estudantes dos anos de 2022, 2023 e 2024 e demonstraram insegurança em relação ao conteúdo Aerofotogrametria, além de não realizarem nem um tipo de aulas práticas para lidar com o estudo e análise alguns dos graduandos dos anos de 2024 demonstraram não reconhecerem a matéria mesmo após já realizarem a disciplina de Cartografia.

A pesquisa realizada também mostra que muitos dos professores que exercem função na faculdade tem conhecimento sobre, porém não de forma aprofundada, pois a Carga Horária (CH) é muito pequena em relação às disciplinas exercidas durante o curso, portanto, a pesquisa tem como fim avaliativo as experiências pessoais de alunos e professores de forma online.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

“A falta de materiais didáticos adequados e atualizados é um problema recorrente no ensino de Geografia. A ausência de livros, mapas, materiais audiovisuais e acesso a tecnologias geoespaciais dificulta o enriquecimento das aulas e a exploração de diferentes abordagens pedagógicas.” (GONSALVES-2018). O despreparo não pode ser considerado unilateral, como se fosse a culpa da graduação não só do preparo, mas isso acaba indo além como a precariedade na estruturação e suporte que um profissional deve utilizar.

“O despreparo dos geógrafos em lidar com mapas, particularmente no Brasil, bem acarretando distorções no seu uso como meio de comunicação de resultados de pesquisa ou mesmo como etapa metodológica.” (GIRARDI-2010). É notório destacarmos que a ausência de professores geógrafos com capacitação para aplicar o ensino aerofotogramétrico é de extrema preocupação, pois uma boa formação é necessária para que haja bons profissionais e negligenciar tais estudos permitem com que haja um maior desinteresse sobre a disciplina e com uma deficiência acadêmica de forma irregular.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como análise crítica, devemos entender que há certas dificuldades presentes diante das problemáticas da disciplina Aerofotogrametria no currículo da geografia e de outros cursos, visto que vários outros cursos também apresentam uma grande fragmentação epistemológica da disciplina em outras grades curriculares como a fotogrametria. Logo, é notório que a Aerofotogrametria é muito importante, porém e muito negligência, deixando-nos a questionar se ela realmente deveria ser considerada uma disciplina por ser minoritária perante a outras disciplinas

Então, como análise, devo destacar que há uma grande causa, porém com a sua fragmentação constante em conteúdo ela acaba sendo um conteúdo de pouca relevância, visto que sua demanda acadêmica e profissional é extremamente baixa, permitindo com que haja uma desvalorização deste ensino que demonstra ser extremamente importante

para que a compreensão de cálculos, projetos urbanos, estudos geomorfológicos e análise de dados em uma determinada área.

A má formação de geógrafos e licenciados em geografia está em risco de maneira significativa, já que ao não estabelecer a matéria Aerofotogramétrica a disciplina se tornará irreduzível e insignificante para a formação Geográfica, distanciando ainda mais respectivos conteúdos da geografia, visto que é considerada uma ciência do estudo do espaço e suas dinâmicas, mostrando-se contraditório nas suas ideias epistemológicas por negligenciar cada vez mais a Aerofotogrametria da base de conteúdos, além de restringir o conhecimento não apenas para o ensino superior mas para a Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Conclui-se que a Aerofotogrametria acaba sendo uma incógnita na vida do geógrafo, já que ela demonstra ser um objeto de estudo bem redundante ao ponto de ser fragmentada em outras disciplinas, então, o que seria ? a forma de estudo tem capacidade de ser um conteúdo optativo no currículo, pois sua importância é significativa e colocá-lo em outras disciplinas restringe o conhecimento e saber geográfico, aplicá-lo como matéria optativa abriria uma maior CH e com uma ênfase mais analítica e conteudista, sem que haja prejuízos na formação educacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise realizada, fica evidente que a retirada da Aerofotogrametria do currículo dos cursos de Geografia representa não apenas uma perda técnica, mas também um reflexo de processos mais amplos de precarização do ensino público superior. A disciplina, ao ser constantemente fragmentada e diluída em outros componentes curriculares como Cartografia e Sensoriamento Remoto, perde sua identidade autônoma e com isso compromete a formação integral do geógrafo enquanto profissional técnico-científico capaz de operar com tecnologias espaciais e diagnósticos territoriais.

A pesquisa realizada junto a docentes, discentes e ex-discentes da Universidade Federal do Pará demonstrou, de forma clara, a insegurança técnica resultante da ausência de uma abordagem aprofundada e prática da Aerofotogrametria. Essa carência compromete a autonomia e a qualificação dos profissionais frente às demandas do mercado, que exigem domínio de geotecnologias e capacidade analítica para lidar com dados espaciais em projetos urbanos, ambientais e rurais.

Além disso, observa-se que a desvalorização da Aerofotogrametria enquanto disciplina reflete uma tendência de currículos generalistas, que, embora promovam certa interdisciplinaridade, acabam esvaziando saberes aplicados fundamentais para a atuação geográfica. Essa realidade exige a reestruturação crítica dos Projetos Pedagógicos de Curso (PPC), com ênfase na valorização dos conhecimentos técnicos e práticos que historicamente compuseram a formação do geógrafo.

Portanto, é urgente defender a reinserção qualificada da Aerofotogrametria nos cursos de Geografia — seja como disciplina obrigatória ou optativa com carga horária suficiente — garantindo assim a formação de profissionais mais completos, tecnicamente capacitados e socialmente comprometidos com a análise e intervenção no território. Esta é uma agenda que precisa ser debatida nos espaços acadêmicos, colegiados e fóruns educacionais, como parte da luta por uma educação geográfica mais crítica, técnica e transformadora.

REFERÊNCIAS

GIRARDI, Gilberto. A cartografia no ensino superior de Geografia: desafios e possibilidades. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 28, n. 2, p. 89–104, 2010. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/14274>. Acesso em: 26 jul. 2025.

PEREIRA, Érica da Silva; MENEZES, Patrícia Rosana de Oliveira. Desafios da Cartografia no processo de ensino e aprendizagem na formação inicial do professor de Geografia. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 71, n. 4, p. 1077–1094, 2019.

Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44080>. Acesso em: 26 jul. 2025.

SANTOS, Terezinha de Jesus; REIS, Gisele da Silva. Novos desafios na formação do professor de Geografia e as geotecnologias. *GeoGraphos: Revista Digital de Geografía y Ciencias Sociales*, Alicante (Espanha), v. 11, n. 132, p. 313–331, 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/geografares/22811>. Acesso em: 26 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Aerofotogrametria. Portal Institucional UFPel, [2025]. Disponível em: <https://institucional.ufpel.edu.br/disciplinas/cod/0800088>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GONÇALVES, Débora Maria Ribeiro et al. Desafios do ensino de Geografia e novas perspectivas com uso de geoinformação. In: Atena Editora. *Desafios do Ensino de Geografia*. São Paulo: Atena, 2022. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/desafios-do-ensino-de-geografia-e-novas-perspectivas-com-uso-de-geoinformacao>. Acesso em: 26 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Aerofotogrametria. In: *Atlas Geográfico Escolar – Introdução à Cartografia*. Portal IBGE. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/cartografia/21736-aerofotogrametria.html>. Acesso em: 27 jul. 2025.

Capítulo 4



10.37423/251210545

DINÂMICAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NO PARQUE ESTADUAL DO AGUAPEÍ, SÃO PAULO: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 1998, 2010 E 2022

Luan Moreira Ulloffa

Isabel Cristina Moroz Caccia Gouveia

*Universidade Estadual Paulista - Faculdade
de Ciências e Tecnologia - Câmpus de
Presidente Prudente
Universidade Estadual Paulista - Faculdade
de Ciências e Tecnologia - Câmpus de
Presidente Prudente*



RESUMO

O processo de ocupação da região da Bacia Hidrográfica do Aguapeí remonta ao final do século XIX e início do século XX, quando centenas de trabalhadores se dirigiram para a área em busca de novas oportunidades. O uso do solo foi sendo consolidado de maneira gradual, de acordo com as características locais, passando a sofrer modificações em decorrência tanto do mercado internacional quanto de políticas agrícolas governamentais. Dadas as características locais, como a diversidade biológica da fauna típica do Pantanal mato-grossense, os alagadiços próximos à foz do rio Aguapeí foram denominados de 'Pantaninho Paulista'. Ao final da construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, como medida de compensação ambiental, foi criado o Parque Estadual do Aguapeí e sua Zona de Amortecimento. Ross (1994) enfatiza que é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos de ordenamento territorial, com base na fragilidade dos ambientes mensurados por meio de estudos analíticos. Em decorrência das particularidades do local e da necessidade de controle das atividades desenvolvidas na Zona de Amortecimento, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as transformações ocorridas no uso e na ocupação da terra, tanto na Zona de Amortecimento quanto no interior da UC, nos anos de 1998, 2010 e 2022. Para isso, foram utilizadas informações sobre uso e cobertura da terra, processadas em SIG, além de visitas à área de estudo. O entorno do PEA era predominantemente composto por pastagens para criação de gado, as quais estão sendo progressivamente substituídas pelo cultivo de cana-de-açúcar. Dessa forma, elas contribuem para um alto nível de fragilidade, variando de 75% a 70% nos três períodos analisados. A redução dos altos níveis de fragilidade se deu, principalmente, devido à criação da UC. É fundamental adotar práticas agrícolas sustentáveis, menos prejudiciais ao meio ambiente, como alternativa ao avanço das monoculturas e pastagens.

Palavras-chave: Uso e ocupação da terra, Fragilidade Ambiental, Unidades de Conservação, Monocultura, Geoprocessamento.

1 INTRODUÇÃO

Até o final do século XVIII a ocupação do interior, não apenas paulista, mas brasileiro, em geral, era bastante incipiente e esparsa. A situação começa a se alterar no século XIX com a cultura cafeeira e, em especial, no início do século XX, onde se inicia a corrida para o oeste em busca de terras férteis.

Desta maneira, a ocupação da Bacia Hidrográfica do Aguapeí teve início no final do século XIX e início do XX. Segundo Campos e Inoue (2020), empresas ferroviárias conectaram regiões remotas ao circuito produtivo paulista, especialmente para o café. A linha tronco oeste da Companhia Paulista, de Piratininga a Panorama, atravessou áreas antes habitadas por povos indígenas, conhecidas como o “sertão desconhecido”. Essa expansão criou pequenas vilas e núcleos urbanos, integrando a região à expansão agrícola pioneira do Estado, atraindo trabalhadores em busca de novas oportunidades (Monbeig, 1984).

Assim, juntamente com fazendeiros plantadores de café, um grande número de trabalhadores rurais, nativos e imigrantes, se deslocaram para o interior paulista, promovendo a ocupação extensiva dos terrenos, desmatando, aumentando a área agrícola, ampliando as vilas, transformando-as em cidades, criando novas cidades em uma velocidade explosiva, sem precedentes (Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapei e Peixe, 1997).

Ainda segundo o Relatório Zero (1997), o esgotamento gradual dos solos levou à expansão de campos de pastagem para criação de gado. Após 1940, o desmatamento avançou ao longo do rio Paraná e seus afluentes, como o Aguapeí, acompanhando a introdução de rodovias e maquinário agrícola motorizado, o que acelerou a degradação do solo. Com a ocupação definitiva da região, o uso do solo se consolidou, sofrendo apenas variações devido ao mercado internacional e políticas agrícolas governamentais.

Mais recentemente, ao final da construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera -Engenheiro Sérgio Motta, no rio Paraná, divisa dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), foi criado o Parque Estadual do Aguapeí através do Decreto nº 43.269 de 02 de julho de 1998.

Dadas as características regionais, como a presença de numerosas espécies de diversidade biológica da fauna típica do pantanal mato-grossense, os alagadiços presentes em direção à foz do rio Aguapeí, foram denominados, regionalmente de “Pantaninho Paulista” (São Paulo, 2010). Para que os objetivos

de recuperação e preservação dos ecossistemas locais sejam alcançados, a UC não é suficiente, tendo em vista os diversos impactos negativos que atividades em áreas próximas podem ocasionar no Parque, como poluição dos solos e de recursos hídricos, ruídos, espécies invasoras etc. Desta maneira, foi criada a zona de amortecimento (ZA), que desempenha papel imprescindível para que haja controle e monitoramento das áreas ao redor, a qual parte de um raio de dez quilômetros dos limites da UC, segundo a resolução CONAMA 13/90.

Entretanto, Ross (1994) enfatiza que é absolutamente necessário que as intervenções humanas sejam mensuradas e planejadas nessas áreas, com objetivos de ordenamento territorial, com base na fragilidade dos ambientes mensurados por meio de estudos analíticos. Esse conceito de fragilidade pode ser definido como a suscetibilidade do ambiente a sofrer qualquer tipo de impacto e está relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem natural e antrópica (Tamanini, 2008).

Dessa maneira, devido as particularidades do local, e da necessidade de controle das atividades presentes no interior da Zona de Amortecimento, a fim de mitigar os impactos sofridos pela UC, o presente trabalho se propõe a avaliar as transformações sofridas pelo uso e ocupação da terra, na ZA e no interior da UC, nos anos de 1998, 2010 e 2022,

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O Parque Estadual do Aguapeí é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (UCPI) e está inserida na UGRHI-20, entre as coordenadas geográficas latitude 21°07' e 21°17' Sul, longitude 51°20' e 51°39' Oeste. Juntamente com sua Zona de Amortecimento, estendem-se pelos municípios de Castilho, Nova Independência, Guaraçaí, São João do Pau D'Alho, Monte Castelo e Junqueirópolis, todos pertencentes ao estado de São Paulo, abrangendo uma área de 9.043,9741 ha e perímetro de 80,25 km (São Paulo, 2010).

2.2 Projeto MapBiomass

Os dados *raster* de uso e cobertura da terra, referentes aos anos de 1998, 2010 e 2022, foram adquiridos no site do Projeto MapBiomass (<https://brasil.mapbiomas.org/>). Utilizou-se a ferramenta *r.report* do QGIS 3.28.9 para o gerar os relatórios das áreas (em Km²) de cada grupo de classificação

de uso e cobertura da terra, além de seus respectivos códigos, presente na área de estudo, a saber: (3) Formação Florestal, (11) Campo Alagado e Área Pantanosa, (15) Pastagem, (20) Cana-de-açúcar, (21) Mosaico de Agricultura e Pastagem, (24) Área Urbanizada, (25) Outras Áreas não Vegetadas, (33) Rio ou Lago e (39) Soja. Os dados foram agrupados afim de se calcular as respectivas proporcionalidades, em porcentagem, sobre a área de estudo.

2.3 *Níveis de Fragilidade*

Os níveis de fragilidade foram definidos com base na metodologia proposta por Ross (1994), adaptada às especificidades da área de estudo e fundamentada em Moroz- Caccia Gouveia (2022). Considerou-se que a fragilidade relacionada ao uso e à cobertura da terra é inversamente proporcional ao grau de proteção conferido aos solos.

2.4 *Trabalho de Campo*

Os trabalhos de campo tiveram como objetivo reconhecer a região e levantar informações gerais sobre os aspectos socioambientais do Parque Estadual do Aguapeí e de sua zona de amortecimento. Foram realizadas duas visitas, voltadas à observação do objeto de estudo. Na primeira, analisaram-se as condições bióticas, abióticas e o zoneamento interno da unidade de conservação (UC); na segunda, as condições externas à UC

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Historicamente, as ações antrópicas causam mudanças significativas sobre diferentes ocupações que ocorrem sobre a cobertura do solo. A partir do Quadro 1 é possível identificar as variações do uso e cobertura da terra em seus respectivos anos.

Quadro 1 – Variações do uso e cobertura da terra nos anos de 1998, 2010 e 2022 no PEA e sua Zona de Amortecimento, em porcentagem (%).

Uso e Cobertura	1998	2010	2022	Fragilidade
(3) Formação Florestal	14%	16%	17%	1
(11) Campo Alagado e Área Pantanosa	9%	9,49%	11,53%	6
(15) Pastagem	64%	30%	18%	4
(20) Cana-de-açúcar	1%	23%	35%	4
(21) Mosaico de Agricultura e Pastagem	8%	20%	17%	4
(24) Área Urbanizada	0,01%	0,01%	0,01%	3
(25) Outras Áreas não Vegetadas	1,89%	0,1%	0,04%	5
(33) Rio ou Lago	2%	1,3%	1,02%	0
(39) Soja	0,1%	0,1%	0,4%	4

Fonte: Autores.

Nas três últimas décadas, a região do entorno do Parque Estadual do Aguapeí (PEA) foi composta principalmente por uma matriz de pastagem plantada para criação de gado, que vem sendo substituída gradativamente pelo cultivo de cana-de-açúcar, sendo essa a mais drástica alteração da cobertura da terra, saltando de 1% em 1998 para 23% em 2010 e 35% em 2022. No Estado de São Paulo, a monocultura da cana-de-açúcar foi se expandindo a partir de dois momentos principais: primeiramente na década de 70, com a proposta do governo paulista em aumentar a produção do setor sucroalcooleiro; o segundo e atual, a partir dos anos 2000, relacionado ao aumento principalmente de combustíveis menos poluentes, como o etanol (Lelis, 2015).

Esse avanço traz consigo diversos impactos negativos para a região, como o uso de defensivos agrícolas. Segundo Bombardi (2012), houve um aumento significativo no uso de agrotóxicos no país com a destinação de parte da produção agrícola para a geração em larga escala de energia, como no caso do plantio da cana-de-açúcar. Assim como em qualquer monocultura, a aplicação inadequada de alguns agrotóxicos na cana resulta em diversas consequências negativas para o meio ambiente. O uso impróprio pode levar à contaminação do solo, que, por meio de processos como infiltração, lixiviação, bioacumulação, biomagnificação e difusão, acaba afetando os corpos hídricos (Menezes et al., 2021).

De modo geral, estudos encontrados em diversas pesquisas, demonstram importante interferência dos agrotóxicos no equilíbrio do ecossistema e, consequentemente, na vida animal e humana. Além dos

impactos citados anteriormente, há a possibilidade de interferência nos organismos vivos terrestres e aquáticos, alterando sua morfologia e função dentro do ecossistema (Lopes; Albuquerque, 2018).

Um estudo que avaliou os níveis de vulnerabilidade à contaminação ambiental por agrotóxicos na Bacia Hidrográfica do Rio Aguapeí, associada à expansão da cana-de-açúcar, referente ao índice de apropriação da sub-bacia hidrográfica, mostra que o índice de vulnerabilidade correspondente a classe “muito forte” aumentou de 0% em 2002 para 33% em 2019. Já a vulnerabilidade à contaminação ambiental associada ao índice de pressão direta aos canais de drenagem, houve aumento da classe “muito forte” de 0% (2002) para 37% (2019) (Degrande, 2023).

Em seguida, pode-se observar a redução das áreas de pastagens, onde, em 1998, representavam 64%, em 2010, 30% e em 2022, 18%. Já as áreas que alternam entre pastagem e agricultura (Mosaico de Agricultura e Pastagem), sofreram alterações de 8% (1998), 20% (2010) e 17% (2022). O plantio de soja representa baixa presença na região, sendo de 0,1% em 1998 e 2010 e 0,4% em 2022. Diversas práticas agropecuárias foram constatadas através de visita in loco, na zona de amortecimento do PEA, como a criação de rebanho bovino, avicultura, suinocultura, lavoura de café, amendoim, milho, urucum, mandioca, seringueira, entre outras.

Fragmentos isolados de floresta estacional semidecidual, com áreas variando entre aproximadamente 10 e 1000 hectares, encontram-se distribuídos em ambas as matrizes, tanto em áreas de pastagem quanto em plantações de cana-de-açúcar. (São Paulo, 2010). As atividades agropecuárias contribuem para segmentar pequenas e médias áreas de floresta próximas a Unidade de Conservação, tendo como um de seus resultados uma generalizada perda e fragmentação dos habitats naturais, podendo afetar a taxa de crescimento populacional da biodiversidade local, bem como a alteração das interações entre espécies, sendo considerada uma das maiores ameaças à conservação da biodiversidade ainda existente (Seoane et al., 2010; Forero-Medina & Vieira, 2007).

Habitats afetados por incêndios, como ocorre na monocultura da cana, inundações, agricultura e pecuária, entre outros, podem favorecer a ocorrência de invasões biológicas. Isso ocorre porque frequentemente a chegada de espécies imigrantes já adaptadas se instala em novos nichos gerados pela perturbação, nos quais as espécies nativas têm dificuldade em se aclimatar (Mack et al., 2000). Espécies invasoras podem alterar as propriedades ecológicas fundamentais, como espécies dominantes em uma comunidade e características físicas de um ecossistema, ciclagem de nutrientes e produtividade de plantas (Cervo, 2017).

Além disso, alguns tipos de solo, como os Argissolos Vermelho-Amarelos, presente na área de amortecimento, são extremamente susceptíveis à degradação física, principalmente pela compactação, ocasionada pelo pisoteio animal, agravada pela remoção da vegetação pelo pastejo, podendo reduzir a taxa de infiltração, aumentar a erosão e reduzir o crescimento radicular das plantas. É importante ressaltar que essa compactação depende, dentre outras variáveis, da taxa de lotação animal, da classe de solo e do teor de umidade (Marchão et al., 2009).

Já a área urbanizada manteve-se constante em 0,1% nos três períodos. Isso demonstra o baixo crescimento populacional das pequenas cidades presentes na área de estudo (São Paulo, 2010).

Durante visita in loco, verificou-se a presença de atividades conflitantes na UC e em sua zona de amortecimento. A rodovia SP-563 (Euclides de Oliveira Figueiredo) atravessa o Parque, segmentando-o e gerando perturbações sonoras devido ao tráfego constante. Entre Monte Castelo e Nova Independência (SP), o fluxo médio diário foi de cerca de 3.368 veículos em 2023, conforme dados do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) (São Paulo, 2023). Além disso, Linhas de transmissão (LT) de energia elétrica atravessam a Unidade de Conservação, configurando um paradoxo entre a oferta de um serviço essencial e a preservação da biodiversidade. Sua operação gera impactos negativos, como supressão vegetal e poluição visual, caracterizando as LTs como zonas de uso conflitante com os objetivos das UCs. (Blanc et al., 2017).

A cerca de 4,6 km da entrada do PEA, está o Centro de Detenção Provisória (CDP) de Nova Independência, com 11.180,16 m² e capacidade para 823 detentos, inaugurado em 2018. Na zona de amortecimento, também fica a Usina Ipê, do grupo Pedra Agroindustrial, localizada a aproximadamente 7 km ao norte da entrada do PEA. Desde 2008, a usina tem impulsionado a expansão da monocultura canavieira próxima à Unidade de Conservação. A presença do CDP e da Usina aumenta o fluxo diário de veículos na rodovia, elevando riscos para a fauna que tenta atravessar a via, já segmentada pelo parque.

Rios e lagos representavam 2%, 1,3% e 1,02% em 1998, 2010 e 2022, respectivamente. A formação florestal aumentou de 14% para 16% e 17% ao longo dos anos avaliados. De modo semelhante, os campos alagados e as áreas pantanosas variaram de 9% para 9,49% e 11,53%. Outras áreas não vegetadas reduziram-se de 1,89% para 0,1% e 0,04%. Esses resultados são devidos à criação da Unidade de Conservação.

Em todos os períodos, observou-se que, no interior da Unidade de Conservação, onde predomina a Formação Florestal, houve expansão ao longo dos anos mencionados, em detrimento das Pastagens observadas. Essa transformação deve-se ao zoneamento presente no interior da UC, como a Zona de Recuperação e Zona Primitiva, que objetivam deter a degradação dos recursos, restauração da estrutura e os processos naturais do ecossistema (São Paulo, 2010). Ressaltando, dessa maneira, a importância da UC como espaços estratégicos de desenvolvimento sustentável e de ações restauradoras.

Além disso, áreas de Campo Alagado e Pantanosas, que também passaram por um processo de expansão, encontram-se tanto no interior do PEA quanto, especialmente, na zona de amortecimento próxima à foz do rio Aguapeí, nas planícies fluviais, onde predominam os Gleissolos Háplicos, em função das características morfopedológicas da região. Essas áreas são fundamentais para a caracterização da região do "pantaninho paulista" e desempenham um papel crucial na preservação dos ecossistemas locais (São Paulo, 2010).

Consequentemente, pode-se comparar os níveis de fragilidade do uso e cobertura da terra, como mostra o Quadro 2:

Quadro 2 – Comparação dos níveis de fragilidade do uso e ocupação da terra nos anos de 1998, 2010 e 2022

Níveis de Fragilidade	1998	2010	2022
Muito Baixa (0-1)	14%	16%	17%
Média (3-4)	11%	11%	13%
Alta (5-6)	75%	73%	70%

Fonte: Autores.

A "alta" fragilidade, predominante nos três períodos analisados, variou de 75% em 1998 para 73% em 2010 e 70% em 2022. A "média" fragilidade permaneceu em 11% tanto em 1998 quanto em 2010, e aumentou para 13% em 2022. Por sua vez, a fragilidade "muito baixa" subiu de 14% em 1998 para 16% em 2010 e 17% em 2022. Embora os dados indiquem uma redução da "alta" fragilidade e um pequeno aumento da fragilidade "muito baixa", o que representa um avanço para a Unidade de Conservação, as atividades econômicas locais ainda podem comprometer os objetivos de conservação da área de estudo, uma vez que, em sua maioria, os usos e coberturas da terra continuam sendo de alta fragilidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço da monocultura da cana-de-açúcar em zonas de amortecimento próximas a Unidades de Conservação representa uma séria ameaça à integridade dos ecossistemas protegidos, intensificando processos de degradação ambiental, como a compactação do solo, a contaminação por agrotóxicos e a redução da biodiversidade. Esse cenário evidencia a urgência de se adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e menos agressivas à natureza, capazes de conciliar a produção com a conservação ambiental, especialmente em áreas sensíveis que exercem papel estratégico na proteção dos recursos naturais e na conectividade ecológica. Para isso, são necessários mais estudos que abordem a temática a fim de contribuir com a mitigação dos impactos ambientais em áreas de preservação.

REFERÊNCIAS

- BLANC, G. F. de C.; SANTOS, J. J. da S.; FERRONATO, E. C. P.; HACK, R. O. E.; MIRANDA, T. L. G. de. O paradigma da existência de linhas de transmissão de energia elétrica em unidades de conservação Estaduais no Estado do Paraná. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 11, n. 05, p. 112–125, 2017. DOI: 10.22292/mas.v11i05.615.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. *Diário Oficial da União*, Brasília – DF.
- _____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 13, de 06/12/1990. *Diário Oficial da União*, Brasília – DF.
- BOMBARDI, L. M. Agrotóxicos e agronegócio: arcaico e moderno se fundem no campo brasileiro. *Direitos Humanos no Brasil 2012. Relatório da Rede Social de Justiça e Direitos Humanos*. São Paulo: Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 2012.
- CAMPOS, C.; INOUE, L. M. A FERROVIA E A OCUPAÇÃO DO SERTÃO PAULISTA: A COMPANHIA PAULISTA E SUA LINHA TRONCO OESTE. *Projeto História: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados de História*, [S. l.], v. 69, 2020. DOI: 10.23925/2176-2767.2020v69p172-203.
- CERVO, Isadora Bisognin. Dieta de *Sus scrofa* e suas implicações na agropecuária e na biodiversidade no Brasil. *Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, p.60. 2017.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDRIGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE, 1997. *Relatório Zero*.
- Disponível em: <http://cbhap.org/publicacoes/pbh/>. Acesso em 24 jul. 2024. DAVIS, M. A. *Invasion biology*. Oxford, USA: Oxford University Press, 2009.
- DEGRANDE, Edmiler José Silva. Vulnerabilidade à contaminação ambiental por agrotóxicos nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe: uma análise associada a expansão da cana-de-açúcar. 2023. 260 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Unesp, Presidente Prudente – SP, 2023.
- FORERO-MEDINA, G. ; VIEIRA, M. V. Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 4, p. 493-502, 2007.
- LELIS, L. R. M. A expansão das monoculturas: análise comparativa entre os municípios de Dracena (SP) e Três Lagoas (MS). Três Lagoas, 2015. *Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul*, 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/Leandro-Maximino-Lelis>>. Acesso em 15 out. 2024.
- LOPES, CARLA VANESSA ALVES; ALBUQUERQUE, GUILHERME SOUZA CAVALCANTI DE.
- Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em Debate*, v. 42, p. 518-534, 2018.

MACK, R. N. et al. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control.

Bulletin of the Ecological Society of America, v. 86, n. 4, p. 249–250, 2000.

MARCHAO, R.L.; VILELA, Lourival ; PALUDO, A. ; Guimarães Jr. R. . Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura pecuária no oeste-baiano. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009 (Comunicado técnico (Publicação Série Embrapa)).

MENEZES, J.F.F et al. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos: análise dos impactos causados na saúde humana e ambiental. Perspectivas Online: Biológicas & Saúde, v. 11, n. 37, p. 19-35, 2021.

MONBEIG, P. Pioneiros e fazendeiros de São Paulo. São Paulo: Hucitec/Polis, 1984. MOROZ-CACCIA GOUVEIA, Isabel Cristina. TUTORIAL FRAGILIDADE AMBIENTAL QGIS.

Presidente Prudente: [s.n.], 2022.

ROBINSON, J. G.; BENNETT, E. L. Hunting for sustainability in tropical forests. Biology and resource management in the tropics series, 1 ed. Columbia University Press, New York, 2000.

ROSS, J. L. S. ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS.

Revista do Departamento de Geografia, [S. l.],v. 8, p. 63-74, 2011

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 43.269, de 02 de julho de 1998. Cria o Parque Estadual do Aguapeí, declara de utilidade pública as áreas necessárias. Diário Oficial, São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Governo e Gestão Estratégica, 1998.

_____. Decreto nº 63.699, de 11 de setembro de 2018. Cria e organiza, na Secretaria da Administração Penitenciária, o Centro de Detenção Provisória de Nova Independência e dá providências correlatas. Secretaria de Governo. Diário Oficial, São Paulo, SP: Secretaria da Administração Penitenciária, 2018.

_____. Secretaria de Meio Ambiente. Fundação Florestal. Instituto Florestal. Plano de Manejo: Parque Estadual Aguapeí. São Paulo, 2010. Disponível em:

<<http://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-demanejo-pe-do-Aguapei/>> Acesso em 04 de outubro de 2024.

. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo – Departamento de Estradas de Rodagem (DER). Estatística de Tráfego. Volume Diário Médio das Rodovias (VDM). 2023. Disponível em:

<<https://www.der.sp.gov.br/WebSite/MalhaRodoviaria/VolumeDiario.aspx>> Acesso em 30 de set 2024.

SEOANE, Carlos Eduardo Sícoli; DIAZ, V. S. ; TOMAZ, LONGHI ; FROUFE, Luís. C. M. . Corredores Ecológicos como ferramenta para desfragmentação de florestas tropicais. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 30, p. 207-216, 2010.

TAMANINI, M. S. A. Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária - PR. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

Capítulo 5



10.37423/251210546

CARACTERIZAÇÃO FLUVIOMORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS -RS.

RAFAELA HARUMI FUJITA

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

WAGNER VALDIR DOS SANTOS

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

JOÃO PEDRO FRANCO SOUSA

Universidade Estadual do Oeste do Paraná



RESUMO

O propósito deste estudo foi realizar uma caracterização fluviomorfométrica para a bacia do rio Taquari- Antas, localizada no estado do Rio Grande do Sul, no Planalto das Araucárias e faz parte do sistema fluvial Uruguai. Para isso foram aplicadas metodologias para determinação de desajustes fluviais e índices para detecção de anomalias. A bacia hidrográfica do rio Taquari- Antas possui um perímetro de 1.159 km, uma área de 26.415 km². Em função de sua amplitude foi dividida em dividida em 3 compartimentos: alto, médio e baixo curso. Em geral, apresenta padrões e propriedades de drenagem que denotam grande controle estrutural. O rio Taquari -Antas possui uma extensão de 549,2 km. Nasce no município São José dos Ausentes (RS) a 1250m de altitude e deságua no rio Jacuí a uma altitude de 20m. Ao longo de seu curso apresenta desajustes fluviais, marcados pela presença de knickpoints. Esses desajustes ocorrem em função da influência estrutural, mas também a partir de confluência de canais, o que proporciona aumento de vazão e mudanças no calibre dos sedimentos. Os índices de detecção de zonas anômalas evidenciam que as anomalias de 1ª ordem se localizam em regiões de saltos e cachoeiras, que são relacionados a áreas tectonicamente ativas. Com a aplicação das metodologias fluviomorfométricas, verificamos que os métodos utilizados são de grande eficácia e válidos para detectar zonas com possíveis anomalias, mesmo que a área de estudo seja tectonicamente estável, como ocorre no sul do Brasil. Frente aos resultados obtidos, ainda se faz necessário uma maior investigação da bacia hidrográfica, principalmente a integração de mais análises de cunho morfométrico, além da checagem dos pontos considerados anômalos para determinação da dinâmica fluvial desses ambientes.

Palavras-chave: Planalto das Araucárias, análise fluviomorfométrica, sistema fluvial Uruguai.

1 INTRODUÇÃO

Os canais fluviais são de grande importância nos estudos geomorfológicos e estruturais pois são as variáveis mais sensíveis as modificações crustais (ETCHEBEHERE, 2000), além disso corrobora no entendimento da evolução da paisagem, pois auxiliam na identificação da influência estrutural e litológica para uma determinada região por meio de estudos de cunho quantitativo (ANDRADES FILHO, 2010).

A análise morfométrica da rede de drenagem por meio de sua representação longitudinal pode ser uma ferramenta muito importante quando aliada a estudos geomorfológicos por atentar à compreensão dos condicionantes que equilibram ou desequilibram o sistema fluvial, bem como auxilia no entendimento da evolução geomorfológica de uma região (FUJITA, 2014). Os estudos os perfis longitudinais configuram uma das representações mais empregadas para a detecção destas modificações, pois respondem aos processos de soerguimento atual e também podem indicar estruturas ativas (GORNITZ & SEEBER, 1990). Qualquer alteração de ordem tectônica, climática e antrópica geram modificações nos cursos fluviais que vão à procura de seu novo equilíbrio, assim adquirem certas anomalias em seu padrão de drenagem (BARBOSA et al, 2013).

Recentemente vêm sendo aplicadas algumas análises fluviomorfométricas para identificação de unidades morfoestruturais, bem como os processos morfotectônicos ocorridos no Planalto das Araucárias, com ênfase nos estados do Paraná e Santa Catarina, as quais estão sendo muito eficazes, associadas a assinaturas biológicas, pedológicas e sedimentológicas, para o compreensão da evolução geomorfológica. Visando a continuidade aos estudos, as mesmas análises estão sendo empregadas ao Sul do Planalto das Araucárias, no estado do Rio Grande do Sul. Assim, este trabalho tem como intuito caracterizar a bacia hidrográfica do rio Taquari- Antas (RS) a partir de estudos fluviomorfométricos.

A BH do rio Taquari - Antas (bacia hidrográfica do rio Taquari - Antas) localiza- se no estado o Rio Grande do Sul (Figura 1), e pertence ao sistema fluvial do Atlântico Sul, no Planalto das Araucárias. A área de estudo está alocada nos domínios morfoestruturais das bacias e coberturas sedimentares (RADAMBRASIL, 1986) sob as rochas dos grupos São Bento, Rosário do Sul, Passa Dois e litologias do escudo Sul rio- grandense, estruturalmente a área é influenciada por falhas e fraturas . De acordo com RADAMBRASIL (1986) abrange as regiões geomorfológicas denominadas Planalto das Araucárias, Planalto das Missoes e Depressão Central Gaúcha e as unidades geomorfológicas Planalto Santo Ângelo, Planalto dos Campos Gerais, Patamares da Serra Geral, Serra Geral e Depressão do Jacuí.

De acordo com FEPAM (2017) o tipo climático predominante é o subtropical úmido, com temperaturas médias 16º C e precipitações médias anuais de 1700 mm. Devido a dimensão espacial da área de estudo são observadas quatro regiões fitogeográficas denominadas Savana, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e Áreas de Tensão Ecológica (FEPAM, 2017).

2 METODOLOGIA

Para o estudo foram utilizadas as bases cartográficas do IBGE, em escala de 1:50.000 digitalizadas. Para a análise da rede de drenagem foram utilizados os padrões propostos por Howard (1967) e o gabarito proposto por Soares e Fiori (1978).

A partir dos dados morfométricos de altitude e extensão do canal fluvial foi elaborado o perfil longitudinal do rio dos Touros e analisado a partir da metodologia sugerida por McKeown et al. (1988), que considera desajustes fluviais os segmentos afastados acima de 10 metros da linha do perfil de equilíbrio. Quando os afastamentos estiverem acima do perfil de equilíbrio serão consideradas áreas ascendentes, por sua vez quando estiverem abaixo do perfil de equilíbrio, segmentos em subsidência.

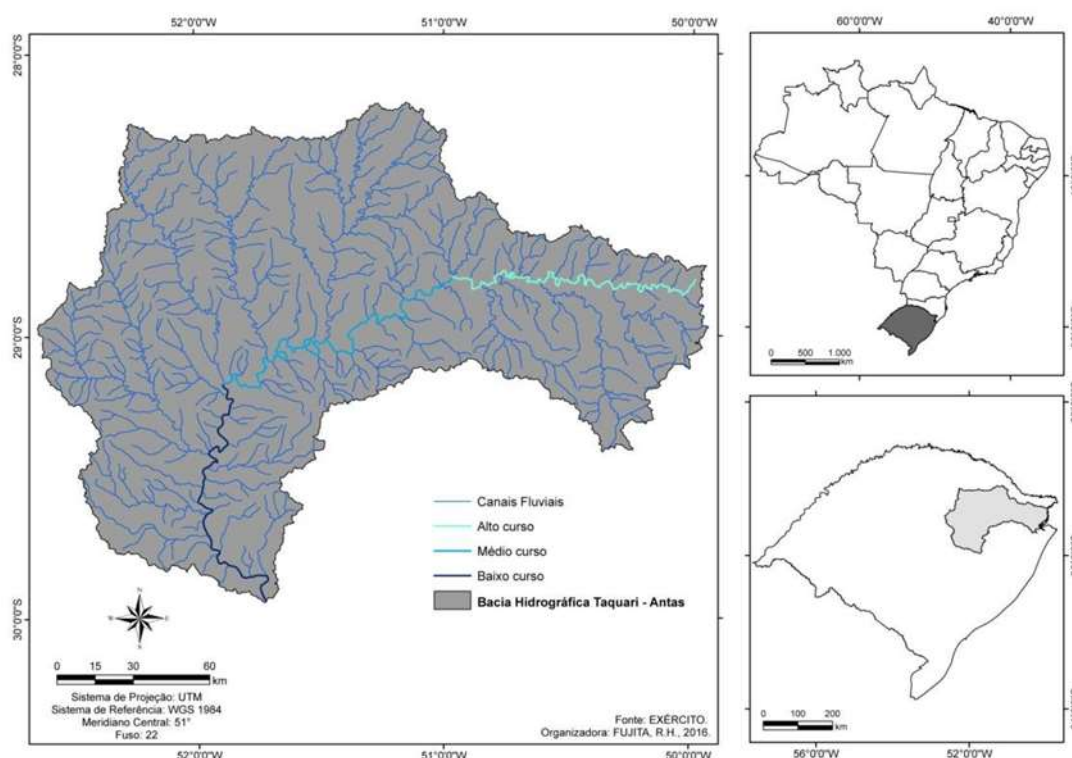
Para o cálculo do índice de gradiente (RDE) por trecho e em sua totalidade foi utilizada a metodologia descrita por Hack (1973). Já para a determinação das anomalias de drenagem foi utilizada a razão entre $RDE_{Trecho} / RDE_{total}$. Os valores compreendidos entre os limiares 2 e 10 correspondem a anomalias de 2ª ordem, já os valores superiores a 10, anomalias de 1ª ordem. As anomalias detectadas foram integradas a base geológica e estrutural da área de estudo para a análise dos resultados fluviomorfométricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Taquari Antas possui um perímetro de 1.159 km, uma área de 26.415 km². e duas direções preferenciais, norte-sul e sudeste.

A análise da rede de drenagem foi realizada utilizando a divisão mencionada por FEPAM (2017) em alto, médio e baixo curso (Figura 1). No alto curso, ocorre o predomínio de drenagens dendríticas e angulares. Já o médio e baixo curso apresentam maior densidade de drenagem e padrão dendrítico, subdendrítico e angular.

Figura 1- Localização da área de estudo



Quanto as propriedades de drenagem, sugeridas por Soares e Fiori (1978) a BH rio Taquari- Antas, foi também seguida a compartimentação em 3 foi classificada conforme mostra o quadro 1. Os resultados evidenciam forte controle estrutural para a bacia estudada.

A presença desses padrões de drenagem e os resultados das propriedades da drenagem na área de estudo remete a um contexto de controle estrutural que são marcados pelas presenças de lineamentos estruturais (fraturas/falhas). De acordo com Ribeiro (2016), essas características apresentadas pela rede de drenagem sugerem o controle estrutural e evidencia uma adaptação dos canais à atual paisagem.

O rio das Antas nasce no município de São José dos Ausentes, localizado no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais, a uma altitude de 1250 m, e percorre 292 km até confluir com o rio Carreiro, dando origem ao rio Taquari - Antas, o qual percorre mais 257, 2 km até desaguar no rio Jacuí a altitude de 20 m, acima do nível do mar.

Quadro 1: Resumo da classificação das propriedades da rede de drenagem. Onde: A: densidade, B: Sinuosidade, C: Angularidade, D: Tropia, E: Assimetria, F: Formas anômalas

Compartimento	A	B	C	D	E	F
ALTO	Média	Misto	Média	Ordenada	Forte	Meandros isolados e arcos
MÉDIO	Média	Misto	Média	Bidirecional	Forte	Cotovelos, arcos e meandros isolados
BAIXO	Média	Misto	Média	Bidirecional	Forte	Cotovelos, arcos e meandros isolados

Ao longo dos 549,2 km foram diagnosticados desajustes fluviais de subsidência e ascensão e um pequeno trecho em equilíbrio fluvial (figura 2).

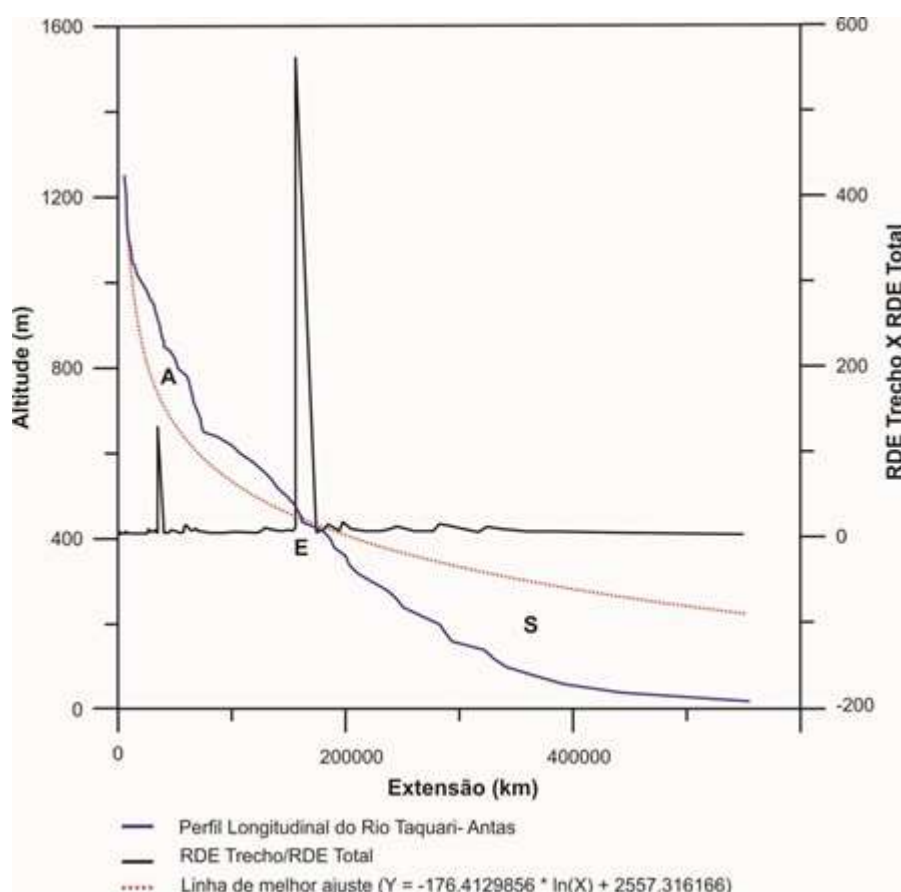


Figura 2- Perfil longitudinal do rio Taquari- Antas. Onde: A: Ascensão; E: Equilíbrio, S: Subsidência.

O segmento em ascensão foi verificado entre as altitudes 1250 a 450 m, perfazendo uma extensão de aproximadamente 156 km. Equilíbrio fluvial fora identificado entre as altitudes 450 a 380 m, e

corresponde a 25 km de extensão do canal fluvial. Já o segmento em ascensão, que representa uma extensão de 368,2 km situa-se entre 380 a 20 m de altitude.

Ao longo de sua extensão o rio Taquari- Antas apresenta uma série de ressaltos topográficos. No alto curso verifica-se a presença desses ressaltos com amplitudes significativas, no médio curso ocorrem em menor amplitude altimétrica e se assemelham a uma seqüência de patamares. A partir de 400 km de extensão do rio Taquari- Antas não é mais observado a presença desses ressaltos, pois o canal fluvial entra em seu trecho de planície de inundação. Nesses ressaltos topográficos verifica-se uma maior energia do relevo, conseqüentemente um maior stream power que propicia a exploração hidrelétrica, além disso servem para exploração geoturística.

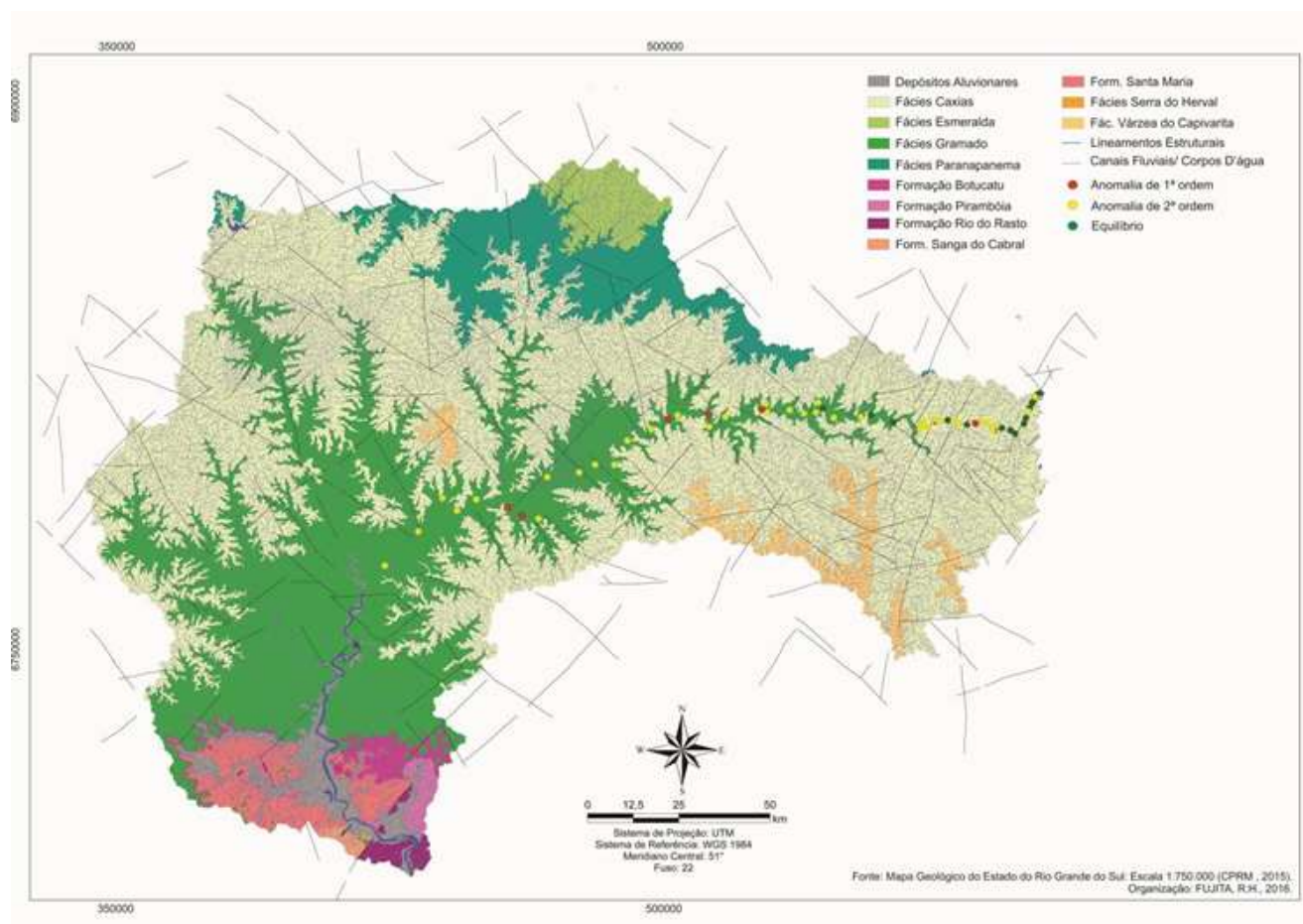
A partir da ótica do equilíbrio dinâmico, os desajustes fluviais de ascensão e subsidência, bem como a presença de knickpoints ao longo do perfil longitudinal. podem ser justificadas pelo encontro de afluentes de maior porte pelas modificações abruptas na carga sedimentar, pelo aumento da vazão (CARLSTON, 1969), mas também podem estar relacionados à existência de substratos rochosos mais resistentes (mudança de nível de base local) (SEEBER & GORTNITZ,1983) e a influência estrutural local e regional.

Com a aplicação do índice de Hack, foi possível segmentar o rio Taquari- Antas em 71 trechos, sendo 46 com presença de anomalias. Foram diagnosticadas 7 anomalias de 1ª ordem e 39 anomalias 2ª ordem, os outros 25 trechos foram classificados como equilíbrio.

Em geral, as anomalias de 1ª ordem variaram de 10,61 a 557, 81. A anomalia localizada entre as altitudes 850 e 840 m (125,38), está relacionada a um controle estrutural regional. Estudos realizados por Cavazini et al, (2016) também verificaram anomalias nessas altitudes. Já as anomalias de 2ª ordem variaram de 2,03 a 9,19.

Ao analisar a figura 3, verificamos que a área de estudo sofre forte controle estrutural, o qual influencia diretamente a organização da rede de drenagem. As anomalias estão distribuídas ao longo do alto e médio curso do rio. As anomalias de 1ª ordem concentram-se no médio curso do rio Taquari-Antas, área onde que a bacia apresenta assimetria entre os flancos.

Figura 3- Mapa geológico e de distribuição das anomalias de drenagem na área de estudo



De acordo com Etchebehere (2000), Aclas Jr et al. (2003), Guedes et al. (2006) e Guedes (2008), Fujita et al. (2011), Fujita (2014), os desajustes fluviais e anomalias de 2ª ordem ocorrem associados a áreas marcadas por mudanças litológicas, controle estrutural, encontro de canais fluviais. Em geral, não houveram influências significativas entre as mudanças litológicas e as anomalias.

As anomalias são justificadas pela influência estrutural na área de estudo, marcada por falhas e fraturas e a ocorrência de knickpoints, que representam níveis de bases locais, que podem indicar potencialidades geoturísticas, como ressaltado anteriormente. Além disso, o encontro de canais principalmente os de maior porte influenciam a ocorrência de anomalias principalmente de 2ª ordem, uma vez que encontro de canais aumentam a vazão, velocidade de fluxo o que potencializa a energia, alterando os processos fluviais e texturas granulométricas. Já as anomalias de 1ª ordem estão são marcadas pela presença de cachoeiras e quedas d'água, que para autores como Etchebehere (2000) e Fujita et al. (2011) identificam a presença dessas feições como indicadores de áreas influenciadas pela neotectônica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo foram obtidos a partir da sistematização dos resultados morfométricos, delineados no perfil longitudinal e aplicação do Índice de Hack, para o Taquari -Antas, localizado no Planalto das Araucárias. Diante dos resultados apresentados, puderam-se chegar às seguintes conclusões:

- A bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas possui controle estrutural. Este controle é verificado a partir da organização da rede de drenagem, seus padrões e propriedades;
- O canal fluvial encontra-se em desequilíbrio fluvial, apresentando áreas em ascensão e subsidência, e apresenta uma seqüência de rupturas de declive (knickpoints). Esses desajustes ocorrem devido a influência estrutural e encontro de canais;
- Mudanças litológicas não foram significativas para a ocorrência das anomalias,
- As anomalias são ocasionadas, principalmente, pelo controle estrutural. As anomalias de 2ª ordens são também originadas de encontro de canais fluviais;
- As anomalias de 1ª ordem localizam-se em áreas de saltos e cachoeiras, que são relacionados a áreas tectonicamente ativas e em áreas com padrões de drenagem que refletem diretamente a influência tectônica.
- Frente aos resultados obtidos, ainda se faz necessário uma maior investigação da bacia hidrográfica, principalmente a integração de mais análises de cunho morfométrico e checagem dos pontos considerados anômalos.

REFERÊNCIAS

ACKLAS Jr. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do Município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. Revista UnG – Geociências, ano 6, n. 8, p. 64-78, 2003.

ANDRADES FILHO, C. O. Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. 177 f., 2010. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ribeirão Preto.

BARBOSA, TS., LIMA, VF., FURRIER, M. Anomalias em padrões de rede de drenagem como fator de verificação neotectônica - um estudo de caso nas subbacias do rio Mamuaba-PB. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 26 (2013), p. 195-213.

CARLSTON, C.W., Longitudinal slope characteristics of rivers of the mid-continent and the Atlantic east Gulf slopes. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology. XIV, 4, 1969.

CAVAZINI, A.J. ; FUJITA, R.H. ; PAISANI, J. C. . Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Touros, São José dos Ausentes-RS. In: XI SINAGEO, 2016, Maringá. ANAIS XI SINAGEO, 2016.

ETCHEBEHERE MLC. (2000) Terraços neo-quaternários no vale do rio do Peixe, planalto ocidental paulista: Implicações estratigráficas e tectônicas. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP.

FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental / PRÒ-GUAÍBA, QUALIDADE AMBIENTAL - REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA: QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS ANTAS E RIO TAQUARI.Porto Alegre.

http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp
Acesso:01/01/2017.

FUJITA, RH. Geomorfologia e evolução quaternária da Calha do Alto rio Paraná, no segmento livre de barramentos, entre os reservatórios de Porto Primavera e Itaipu.Rio Claro, SP, 2014. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

FUJITA, R. H.; GON, P. P.; STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L.; ETCHEBEHERE, M.

L. C.(2011) Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR. Revista Brasileira de Geociências.

GORNITZ, V., AND L. SEEBER., Vertical crustal movements along the East Coast, North America, from historic and Late Holocene sea level data. Tectonophysics, 178, 127-150, 1990.

GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C.;

MORALES, N.; SAAD, A. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Inácio(SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. Revista UNG - Geociências, v. 5, nº 1, 75-102, 2006.

GUEDES, I. C. Aplicação de análise flúvio-morfométrica na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, SP, para detecção de deformações neotectônicas. Dissertação de mestrado, Mestrado em Análise Geoambiental, Universidade Guarulhos, Guarulhos, SP, p.118. 2008.

HACK, J.T. (1973) Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. Survey, J. Research, v. 1, n. 4, p. 421-429.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. AAPG Bulletin, v. 51, p. 2246-2259, 1967.

McKEOWN, F.A. et al. (1988) Analysis of stream-profile data and inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountain region. Denver. U.S. Geol. Survey Bull. 1807, 39 p.

RIBEIRO, F.J. Evolução da rede de drenagem na superfície de Palmas/Água Doce durante o Quaternário Tardio: o caso dos Córregos do Salto e Vigia.. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SEEBER, L & GORNITZ, V., River profile along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. Tectonophysics, 92: 335-367, 1983.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, v. 36, n.258-259, p. 35-59, 1978.

Capítulo 6



10.37423/251210548

RELAÇÕES ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁREAS ÚMIDAS E A CONFIGURAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO BAMBUÍ – ALTO SÃO FRANCISCO, MG

Lívia Lara Silva Pereira

Universidade Federal de Minas Gerais

Rúbia Riane de Souza Araújo

Universidade Federal de Minas Gerais

Harold George Monteiro Ferreira

Universidade Federal de Minas Gerais

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Universidade Federal de Minas Gerais

Diego Alves de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais

Elizêne Veloso Ribeiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Luiz Fernando de Paula Barros

Universidade Federal de Minas Gerais



RESUMO

As Áreas Úmidas (AUs) são sistemas hidrogeomorfológicos caracterizados pela alta presença de umidade e elevada relevância ecológica. Os estudos sobre a configuração do relevo têm elevado potencial para contribuir para os avanços nas pesquisas sobre AUs. Nesse contexto, destacam-se os índices morfométricos, que expressam informações numéricas sobre características físicas de bacias hidrográficas. Recentemente, foram iniciadas pesquisas sobre AUs no alto rio São Francisco, marcado pela diversidade de sistemas hidrogeomorfológicos. O rio Bambuí é um dos afluentes diretos do alto rio São Francisco e sua bacia possui presença marcante de AUs. O presente trabalho busca analisar as relações entre a distribuição espacial das AUs da bacia do rio Bambuí (BRB) e a sua configuração morfométrica, em termos do relevo e da rede hidrográfica. Foi feito um estudo dos dados secundários da geologia e da geomorfologia da bacia. Então, foram utilizados um Modelo Digital de Elevação e a rede hidrográfica otocodificada da bacia para gerar índices morfométricos no software Qgis, como sinuosidade, circularidade e outros. AUs foram mapeadas no Qgis através de uma imagem do Google Satélite de dezembro de 2023 com resolução aproximada de 2 metros por pixel. Elas foram identificadas através de aspectos como cor, textura e formato. Os resultados mostram uma bacia alongada, com declividade geral alta e canal principal meandrante. Índices como densidade de drenagem, rugosidade e declividade variam significativamente ao longo da bacia, fato que se reflete na configuração espacial de AUs. Percebe-se que as AUs estão mais concentradas nas áreas de menor rugosidade e menor declividade, pois os ângulos mais suavizados induzem a acumulação de água, enquanto os terrenos acidentados induzem seu escoamento. Essa interação entre água e relevo explica a grande quantidade de AUs existentes nos médio e baixo cursos da bacia em contraste com a pequena quantidade de AUs no alto curso.

Palavras-chave: Áreas úmidas, Índices morfométricos, Hidrogeomorfologia.

1 INTRODUÇÃO

As Áreas Úmidas (AUs) são sistemas hidrogeomorfológicos caracterizados pela alta presença de umidade, ainda que temporariamente (CUNHA et al., 2015). As AUs apresentam grande importância ecológica, pois possuem relevante biodiversidade e desempenham importantes papéis hidrológicos como a manutenção de regimes fluviais, a recarga de aquíferos e o armazenamento de nutrientes (BORGES; COSTA, 2022). O INAU - Instituto Nacional de Áreas Úmidas - publicou o Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras em 2024 (JUNK; CUNHA, 2024), trazendo importantes contribuições e avanços para o conhecimento e a proteção dos sistemas úmidos do país. A proposta tem um foco mais biológico/ecológico, não contemplando, por exemplo, os pequenos sistemas hidrogeomorfológicos das zonas planálticas de Minas Gerais. Cabe destacar, neste sentido, que Gomes e Magalhães Júnior (2020) elaboraram um panorama dos sistemas de classificação de AUs no Brasil e no mundo e propuseram classes hidrogeomorfológicas de AUs para o referido estado.

Nos últimos anos, alguns estudos foram publicados a respeito de AUs na bacia do alto rio São Francisco (TRINDADE, 2016; ARAÚJO et al., 2022), área marcada por grande diversidade de tipos de AUs, o que reflete a variação geológica, geomorfológica e hidrológica regional. As AUs dessa região apresentam fortes conexões hidrogeomorfológicas e tendem a ser formadas em relevos e substratos que facilitam a acumulação de água na superfície (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020). Dessa forma, os estudos acerca da dinâmica do relevo têm elevado potencial para contribuir para os avanços nas pesquisas sobre AUs, especialmente nessa região.

Uma das técnicas tradicionalmente utilizadas na análise do relevo é a aplicação de índices morfométricos, os quais expressam informações numéricas sobre características físicas de bacias hidrográficas (SILVA et al., 2006). A morfometria tem se mostrado útil para a avaliação do comportamento hidrológico de sistemas hidrogeomorfológicos, podendo-se verificar, por exemplo, se elas são propensas a picos de enchente e se o padrão de drenagem tende à acumulação ou à dispersão da água (SANTOS et al., 2012).

O rio Bambuí é um dos principais afluentes diretos do alto rio São Francisco e sua bacia hidrográfica apresenta riqueza em tipologias de AUs. Porém, apesar dos avanços de pesquisas recentes na região, ainda há lacunas de conhecimentos sobre as conexões entre a gênese e dinâmica das AUs e os condicionantes hidrogeomorfológicos. Assim, o objetivo geral do presente trabalho é analisar a distribuição espacial das AUs da bacia do rio Bambuí (BRB), correlacionando a espacialidade das AUs

com a dinâmica hidrogeomorfológica da bacia através do uso de índices morfométricos. Como objetivos específicos, busca-se: identificar as variações das características morfométricas e do padrão de distribuição de AUs em diferentes áreas dentro da bacia; avaliar os índices morfométricos como ferramenta para facilitar a identificação e o mapeamento de AUs.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base nas seguintes etapas metodológicas: 1) Revisão bibliográfica, 2) Geração dos índices morfométricos, 3) Análise das áreas úmidas; e 4) Interpretação integrada dos dados obtidos.

Primeiramente, foram consultadas publicações envolvendo AUs e índices morfométricos, além do quadro geológico e geomorfológico da bacia analisada.

Na segunda etapa, foi feito o download do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, com resolução de 30 m, e da rede hidrográfica otocodificada na escala de 1:50.000, disponibilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM). A partir desses dados, foi utilizada a calculadora de campo do software Qgis para a geração dos seguintes índices: sinuosidade (Is), circularidade (Ic), coeficiente de manutenção (Cm), concentração de rugosidade (Icr), densidade de drenagem (Dd), razão de relevo (Rr), razão de textura (Rt) e fator de assimetria de bacia de drenagem (FABD). O Quadro 1 apresenta as descrições, aplicações, fórmulas e referências desses índices. Ainda no Qgis, foram utilizadas as ferramentas “Densidade de Kernel” e o complemento “GRASS” para automatizar os índices de declividade, rugosidade e densidade de drenagem da bacia.

Na terceira etapa, foi feito o mapeamento das AUs no Qgis através de uma imagem do Google Satélite de dezembro de 2023, durante a estação úmida, com resolução aproximada de 1 a 2 metros por pixel em áreas rurais. Elas foram identificadas e mapeadas através de aspectos como cor, textura, formato, posição em relação aos cursos d’água e características da vegetação. Em seguida, foi realizado um trabalho de campo na bacia para reconhecimento da área e validação do mapeamento, analisando as interações entre a configuração espacial das AUs e as formas de relevo.

Na quarta etapa, os dados obtidos foram sobrepostos e analisados em conjunto, criando uma compartimentação elementar da BRB.

Quadro 1 - Descrição dos índices morfométricos utilizados

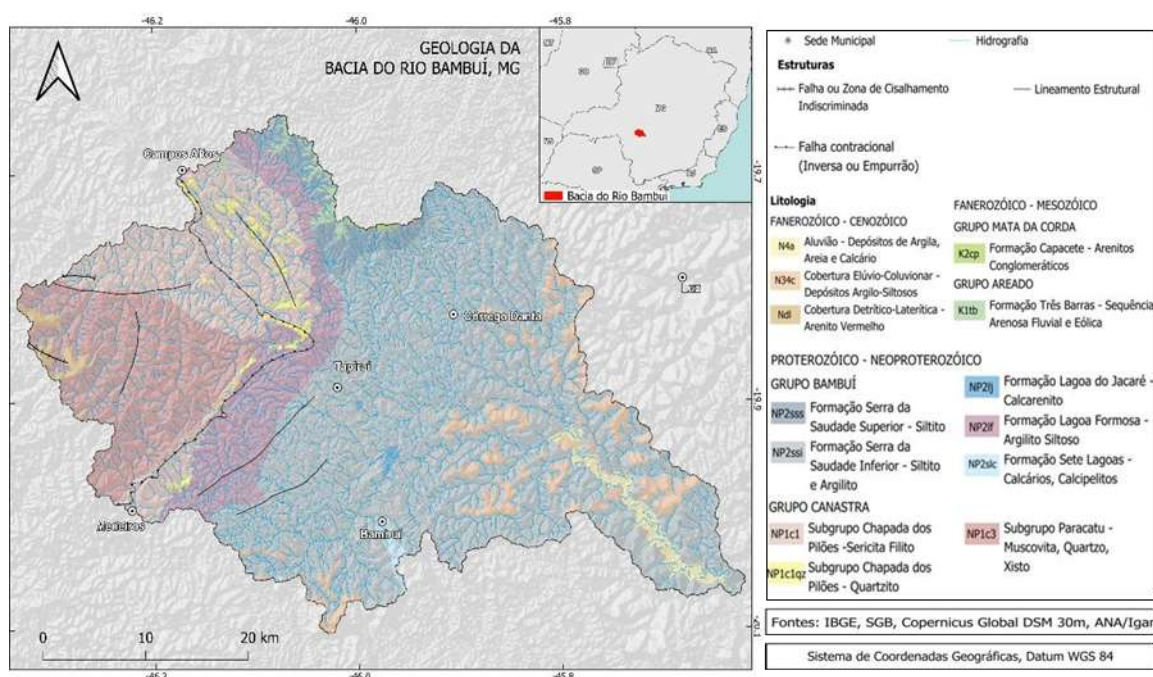
Índice	Descrição	Aplicação	Fórmula	Referência
Índice de sinuosidade (Is)	Medida utilizada para identificar o grau de curvatura de um curso d'água	Analisar padrões fluviais, avaliar a capacidade de carga de sedimentos do curso d'água	$Is = L/Dv$	Horton (1945)
Índice de circularidade (Ic)	Medida utilizada para avaliar o formato de uma bacia hidrográfica em relação a um círculo perfeito	Determinar se a bacia é mais achatada (mais propensa a enchentes) ou mais alongada (volume de água mais bem distribuído ao longo da bacia)	$Ic = 12,57 \cdot (A/P^2)$	Miller (1953)
Coefficiente de manutenção (Cm)	Parâmetro que determina a área mínima necessária para manter 1 metro de canal de escoamento permanente	Indicar se a drenagem é muito densa (comum em áreas dissecadas e em solos impermeáveis) ou pouco densa (típica de solos permeáveis e áreas menos dissecadas)	$Cm = 100/Dd$	Christofolletti (1980)
Índice de rugosidade do relevo (Ir)	Parâmetro que representa aspectos da declividade e do comprimento da vertente de uma bacia hidrográfica	Indicar se o relevo da bacia é mais dissecado (possui maior energia, mais propenso a cheias) ou menos dissecado (menor energia, menor densidade de drenagem)	$Icr = \Delta H \cdot Dd$	Strahler (1958)
Densidade de drenagem (Dd)	Medida que indica a quilometragem de canais presentes para cada quilômetro ² da bacia hidrográfica	Analisar o comportamento hidrológico, indicando a capacidade de infiltração e de formação de canais na bacia	$Dd = Ltot/A$	Christofolletti (1980)
Razão de relevo (Rr)	Medida que representa a relação entre a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica e o comprimento de seu canal principal	Analisar a capacidade energética da bacia hidrográfica, dando noções da sua velocidade de escoamento e da sua suscetibilidade a processos erosivos	$Rr = \Delta H/L'$	Schumm (1956)
Razão de textura (Rt)	Medida que representa a relação entre o número de segmentos de rios e o perímetro da bacia hidrográfica	Avaliar o grau de dissecação do relevo e a capacidade de infiltração de água	$Rt = Nt/P$	Smith (1950)
FABD	Medida que representa a relação entre a área da margem direita do canal principal e a área total da bacia hidrográfica	Identificar o grau de assimetria do canal principal, podendo refletir anomalias e condições fluviais específicas do curso d'água	$FABD = \text{área da margem direita} / A$	Hare; Gardner (1985)
Legenda: L é o comprimento do canal axial; Dv é a distância vetorial do canal principal; A é a área da bacia; P é o perímetro da bacia; Dd é a densidade de drenagem; Ltot é o comprimento total dos canais; ΔH é a amplitude altimétrica da bacia; L' é o comprimento do canal axial; Nt é o número total de canais.				

Fonte: PEREIRA, 2025

3 A BACIA DO RIO BAMBUÍ

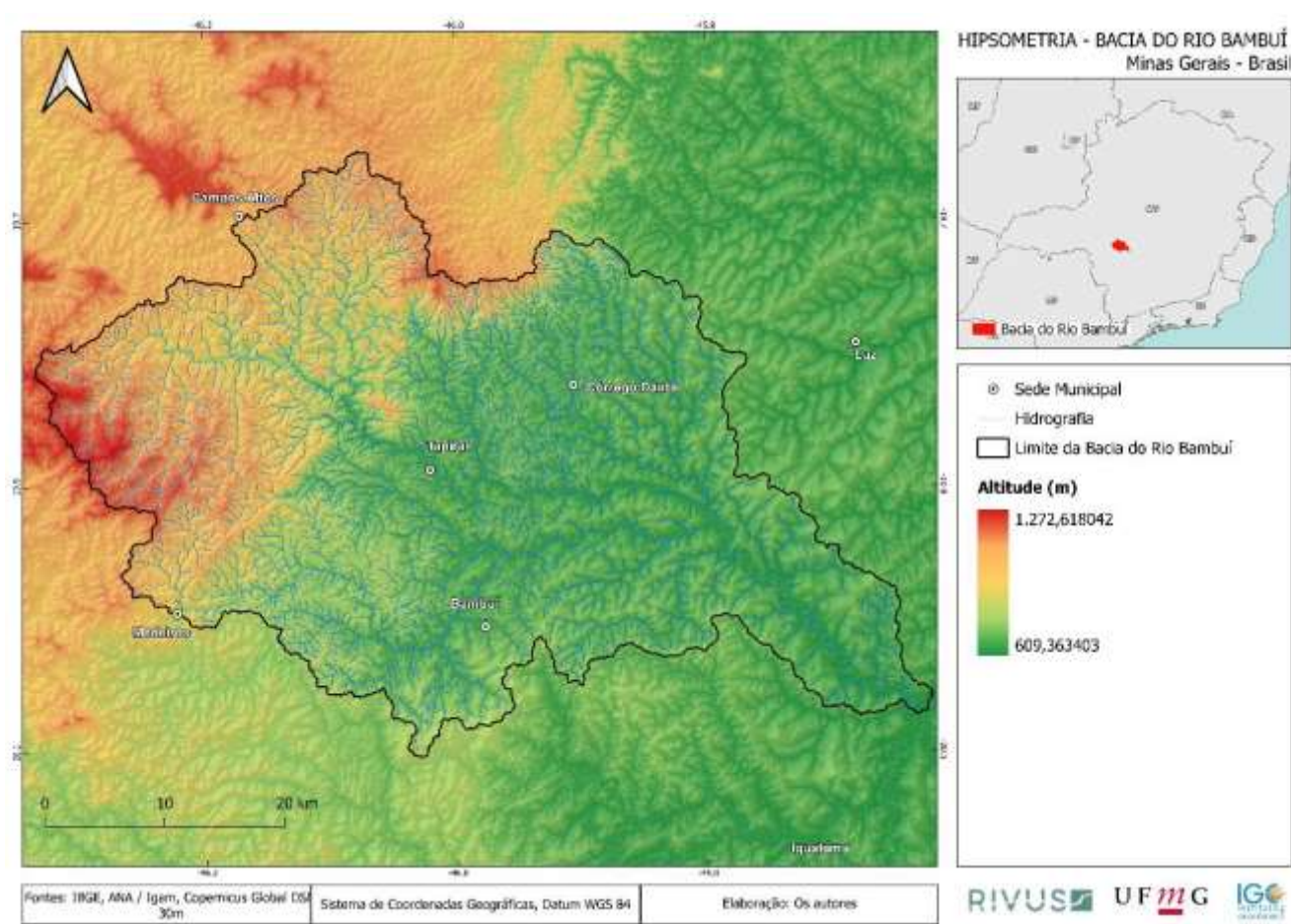
A BRB está localizada no centro-oeste de Minas Gerais, sendo o rio Bambuí um afluente direto da margem esquerda do alto rio São Francisco. Geologicamente, ela se insere predominantemente no contexto do Grupo Bambuí, com destaque para as formações Serra da Saudade Inferior, Lagoa Formosa, Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré (Figura 1). Ressalta-se a presença de siltitos e argilitos, além de rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos. A presença dessas litologias favorece a ocorrência de feições cársticas, como dolinas, que facilitam o acúmulo de água e a gênese de AUs. Em setores mais elevados, predomina o Grupo Canastra, sendo as principais rochas os filitos, xistos e quartzitos. Há uma falha inversa em que as rochas do Grupo Canastra são empurradas sobre as do Grupo Bambuí, influenciando intensamente as características do relevo local. Percebe-se que , a bacia apresenta uma súbita ruptura de declive (Figura 2) próxima à falha de empurrão.

Figura 1 - Caracterização geológica da bacia do rio Bambuí



Fonte: PEREIRA, 2025

Figura 2 - Caracterização hipsométrica da bacia do rio Bambuí



Fonte: PEREIRA, 2025

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a BRB é alongada, com rugosidade média e canal principal sinuoso, controlado estruturalmente, com leve migração para a margem direita (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados dos índices morfométricos utilizados

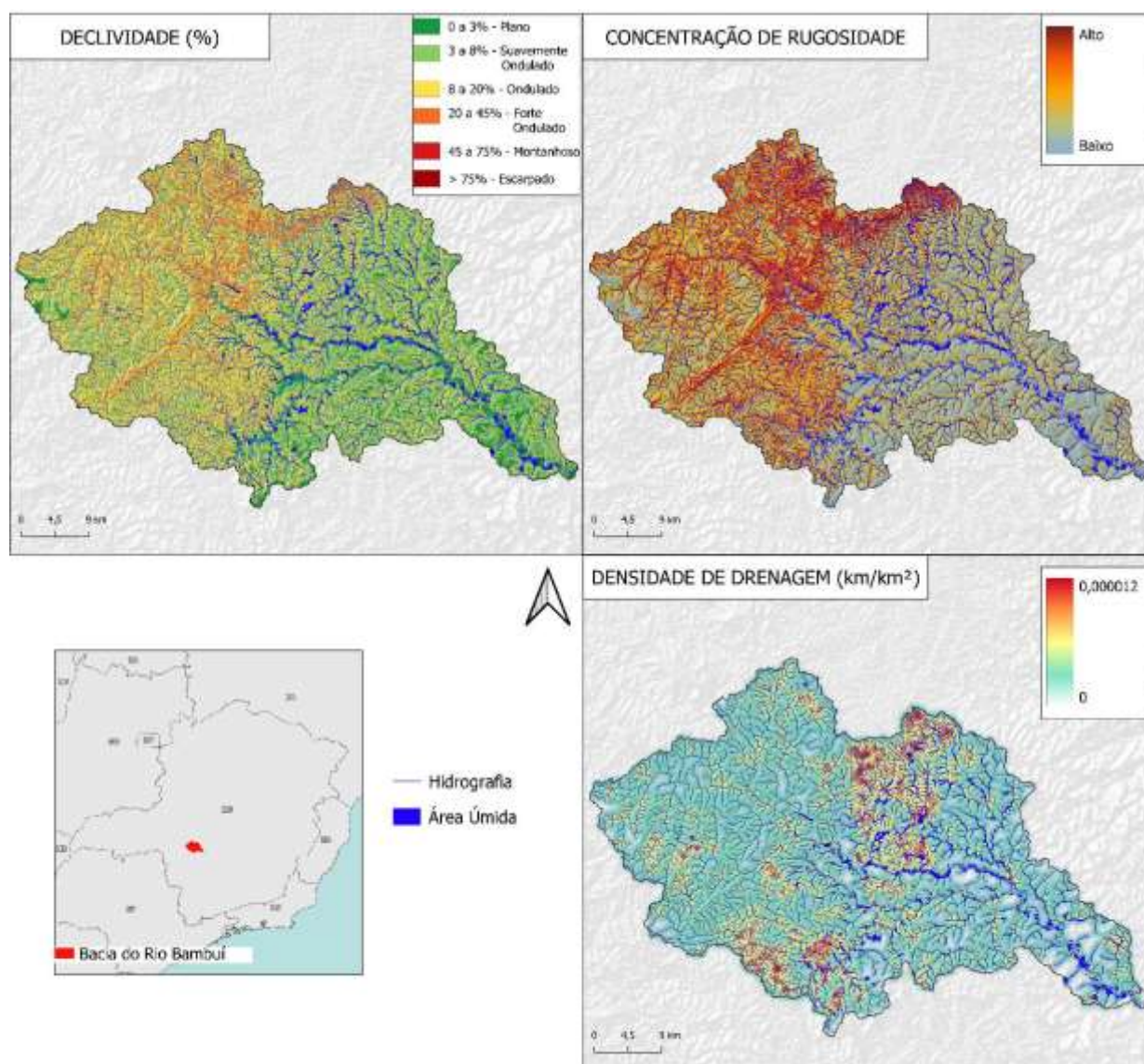
Índices Morfométricos	Valor	Unidade	Interpretação
Índice de sinuosidade (Is)	2,1687	adimensional	Canal meandrante, o que indica menor energia
Índice de circularidade (Ic)	0,1678	adimensional	Bacia alongada, menos propensa a enchentes
Coeficiente de manutenção (Cm)	60,3937	m²/m	Canal precisa de 60 m² para manter 1 m de canal perene
Índice de rugosidade do relevo (Ir)	1,0895	adimensional	Rugosidade média, variando conforme a proximidade aos cursos d’água
Densidade de drenagem (Dd)	1,6558	km/km²	Densidade baixa, indicando boa infiltração de água
Razão de relevo (Rr)	3,9832	m/km	Declividade alta, indicando que o rio possui muita energia
Razão de textura (Rt)	7,4256	unidade/km	Textura fina, o que indica baixa infiltração de água
FABD	53,913	%	Leve migração para a direita

Fonte: PEREIRA, 2025

Isso indica que a bacia está menos propensa a picos rápidos de inundação e que o canal principal apresenta baixa capacidade de carga de sedimentos, apesar de possuir uma declividade geral alta. Quanto ao nível de entalhamento fluvial da rede de drenagem, os resultados mostram um grau de dissecação que varia de médio a elevado.

O índices automatizados da densidade de drenagem, rugosidade e declividade variam significativamente ao longo da BRB, fato que se reflete na espacialidade das AUs (Figura 3). Percebe-se que as AUs estão mais concentradas nas áreas que apresentam menor rugosidade e menor declividade, já que os ângulos mais suavizados facilitam a acumulação de água, enquanto os terrenos mais acidentados induzem ao seu escoamento.

Figura 3 - Áreas úmidas e índices gerados para a bacia do rio Bambuí

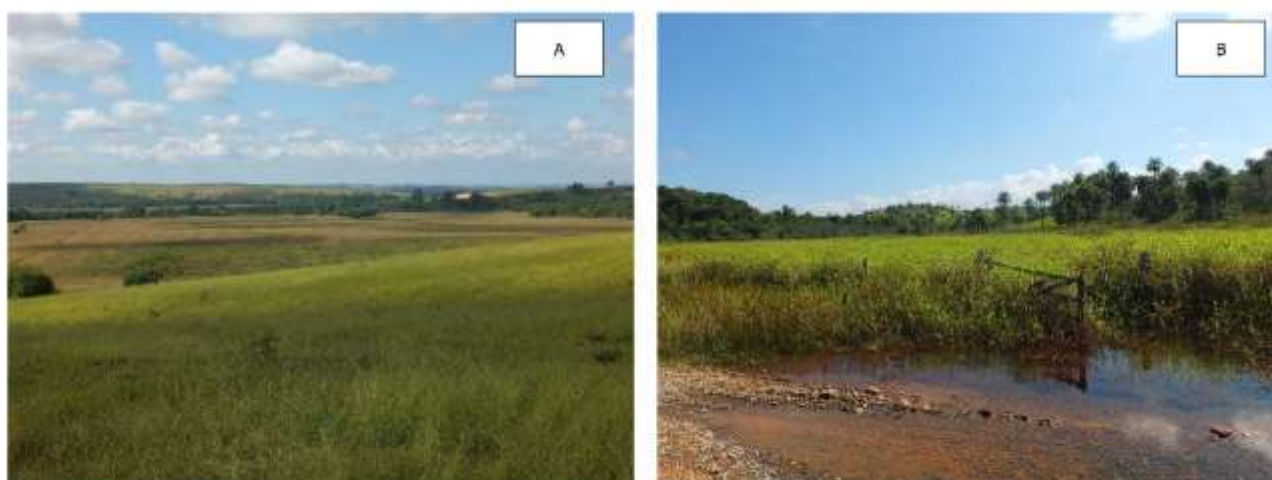


Fonte: os autores, 2025

As áreas mais elevadas, à montante da falha inversa, possuem rugosidade e declividade altas e densidade de drenagem mediana, formando um relevo acidentado com drenagem encaixada e vertentes bem definidas, o que facilita o escoamento rápido da água, sendo um ambiente impróprio à formação de AUs. Nas áreas de menor elevação da bacia, os índices de declividade, rugosidade e densidade de drenagem são baixos, predominando um relevo suave e planícies aluviais que facilitam o acúmulo de água e a formação de AUs. Na porção média da bacia, que seria uma zona de transição entre o relevo mais acidentado e o mais suave, destaca-se a presença de zonas com elevada densidade de drenagem e também alta concentração de AUs. Essas condições podem ser influenciadas pelo aumento da energia dos cursos d'água com a queda de altitude proveniente da falha inversa. Isso gera um maior grau de rugosidade no relevo, mas as encostas não são tão declivosas, o que permite a formação de AUs.

O trabalho de campo possibilitou a visualização de AUs localizadas em diferentes partes da bacia, como nas áreas de planícies aluviais do baixo curso e nos vales encaixados da zona intermediária da bacia. Nota-se que, nas regiões mais aplainadas, as AUs se estendem por quilômetros e possuem uma configuração espalhada com elevada amplitude (Figura 4, item A), muito comuns no baixo curso da bacia. Já nas áreas de relevo mais dissecado as AUs são mais estreitas e alongadas, acompanhando o formato dos fundos de vale (Figura 4, item B), como foi verificado na zona intermediária da bacia.

Figura 4 - Mosaico representando diferentes tipologias de AUs na bacia do rio Bambuí

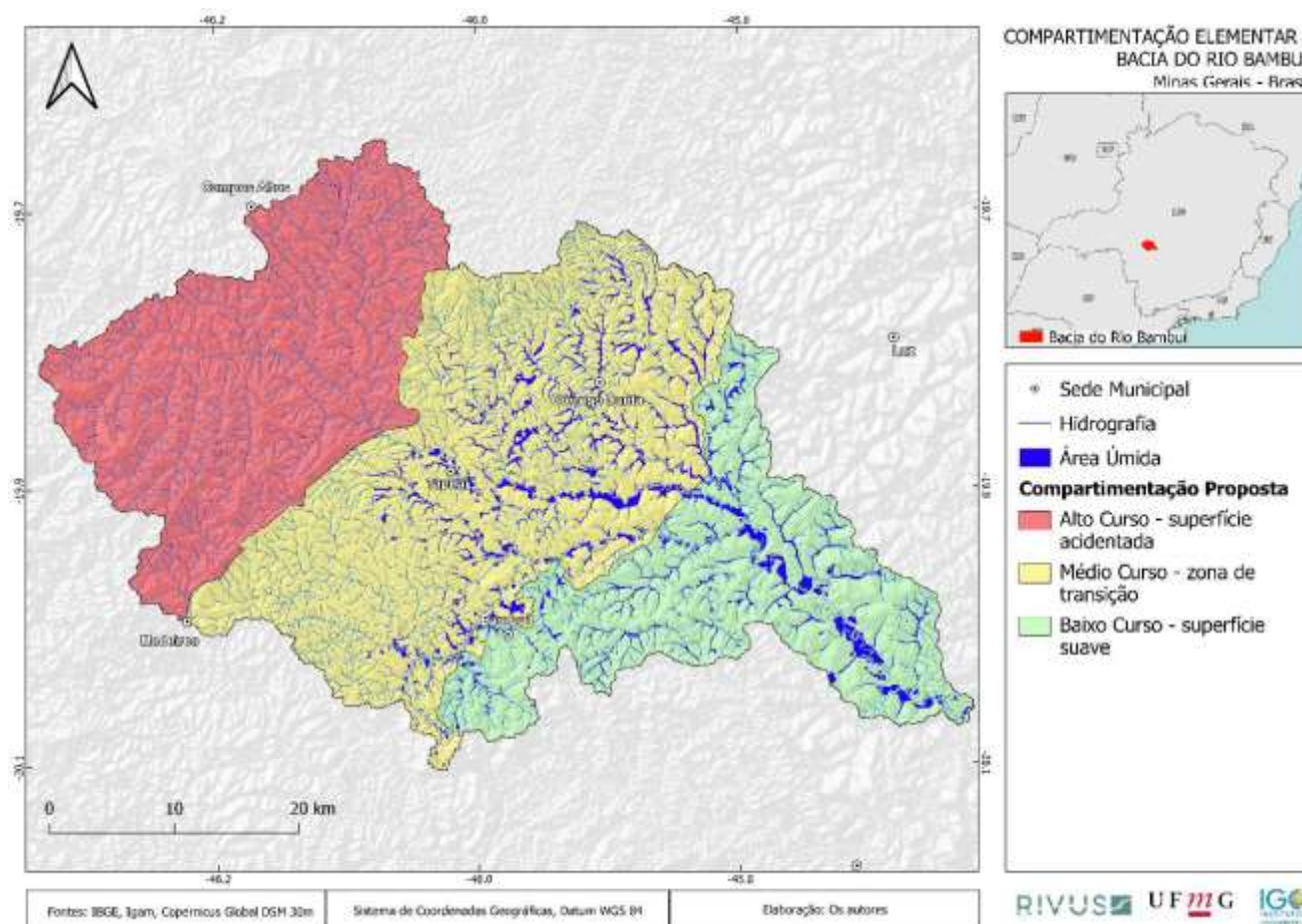


Fonte: os autores, 2025

Com base nas variações morfométricas internas e no padrão de distribuição espacial das AUs em diferentes áreas da bacia, foi feita uma proposta de compartimentação elementar da BRB para facilitar sua análise (Figura 5). A bacia foi dividida em três compartimentos simples que explicitam as principais

heterogeneidades encontradas: Alto curso, Médio curso e Baixo curso. Destaca-se no Alto um relevo acidentado com baixa presença de AUs, no Médio uma alta densidade de drenagem com elevada concentração de AUs e no Baixo um relevo suave com AUs de grande extensão em planícies aluviais.

Figura 5 - Compartimentação elementar da bacia do rio Bambuí



Fonte: PEREIRA, 2025

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os índices morfométricos, quando aplicados em bacias de grande extensão, tendem a não explicitarem as heterogeneidades. Os índices automatizados de declividade, concentração de rugosidade e densidade de drenagem se mostraram mais eficientes na detecção das particularidades internas da BRB. Os resultados mostram a complexidade do relevo, a inclinação das vertentes e o grau de dissecação da rede de drenagem, o que facilita a compreensão dos processos de infiltração e escoamento superficial ocorrentes em diferentes áreas da bacia. Assim, a identificação e mapeamento de AUs se torna mais intuitiva, direcionando o olhar do pesquisador para as áreas mais propensas ao acúmulo de água superficial e subsuperficial. Dessa forma, nota-se que os índices morfométricos são

uma ferramenta importante para alavancar os estudos sobre AUs, ajudando a compreender sua configuração espacial e sua relação com o relevo.

A análise morfométrica da bacia do rio Bambuí revela uma forte relação entre as formas de relevo e a distribuição espacial das AUs. As formações geológicas, principalmente os grupos Canastra e Bambuí, e a presença da falha de empurrão entre eles exercem influência direta na modelagem do relevo e, conseqüentemente, no comportamento hidrológico da bacia. No Alto curso, o domínio de rochas mais resistentes e o relevo acidentado favorecem o escoamento concentrado e inibem a formação de AUs. No Médio curso, região de transição localizada à jusante da ruptura de declive, a água proveniente do Alto curso chega com mais velocidade em terrenos de rugosidade relativamente menor, promovendo o espreadamento e a formação de AUs ao longo de fundos de vales encaixados. Já no Baixo curso, o relevo suavizado, as planícies aluviais e a baixa rugosidade favorecem o acúmulo de água e o desenvolvimento de AUs de grande extensão. Dessa forma, conclui-se que a ocorrência e a dinâmica das AUs na bacia do rio Bambuí estão fortemente condicionadas pelas variações morfométricas, estrutura litológica e dinâmica e geomorfológica da bacia.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R. R. S.; OLIVEIRA, D. A.; RIBEIRO, E. V.. Análise Geomorfológica da Ocorrência de Lagoas Marginais no Alto Curso do Rio São Francisco. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, ano 2022, v. 32, n. 71, p. 1292-1316, 26 out. 2022.
- BORGES, M. G.; COSTA, L. R. F. Tipologia de Áreas Úmidas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiro em Minas Gerais. Caderno de Geografia, v.32, n. 69. 2022.
- CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats. Cuiabá: EdUFMT, 2015. 165.
- GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.. Classes Hidrogeomorfológicas de Áreas Úmidas em Minas Gerais. Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 21, n. 2, 2020.
- HORÁK-TERRA, Ingrid; VIANA, C. B.; TERRA, Fabrício; LEDRU, M. P.; ESCOBAR-TORREZ, Katerine; BARRAL, U. M.; CAMARGO, P. B.. Soil properties and charcoal as proxies of variations driving pedogenesis in a savanna palm swamp (vereda): Insights into Quaternary climate and environmental changes of Central Brazil. CATENA, [s.l.], v. 250, 108760, 2025.
- IUCN (1971): The Ramsar Conference: Final act of the international conference on the conservation of wetlands and waterfowl, Annex 1.- Special Supplement to IUCN, Bulletin 2: 4pp.
- JUNK, W. J.; CUNHA C. N. Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento. Cuiabá: Carlini & Caniato editorial, 2024. 721.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. BARROS, L. F. P. Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais, Editora Bertrand Brasil, 2020
- SANTOS, D. B.; VIDOTTO, M. L.; BERTINATTO, R.; SOUZA MARCON, G. R., FRIGO, E. P., 2012. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. Applied Research & Agrotechnology 5, 7-18.
- SILVA, A. M.; HERPIN, U. Caracterização morfométrica de sete bacias hidrográficas de mesoescala no estado de São Paulo. Caminhos da Geografia. Uberlândia:UFU, v. 17, n. 3, p. 20-30, fev. 2006.
- PEREIRA, L. L. S. Relações entre compartimentos hidrogeomorfológicos e padrões espaciais de ocorrência de áreas úmidas na bacia do rio Bambuí - Alto São Francisco/MG. 2025. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.
- SILVA, A. C.; HORÁK, Ingrid; CORTIZAS, A. M.; VIDAL-TORRADO, Pablo; RACEDO, J. R.; GRAZZIOTTI, P. H.; SILVA, E. B.; FERREIRA, C. A.. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional-MG: I - Caracterização e classificação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, p. 1385–1398, 2009.
- TRINDADE, Wallace Magalhães. Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais. Repositório Institucional da UFMG, 2016. Belo Horizonte, MG.



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](#)

GEOLOGIA: ORIGEM E TRANSFORMAÇÃO

VOLUME II



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE