



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovações



FELIPE AUGUSTO SANTOS

**POTENCIAIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO
DO SOLO NA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE
SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

FELIPE AUGUSTO SANTOS

**POTENCIAIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO DO SOLO NA
PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO
PARAÍBA DO SUL**

Dissertação apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres Naturais. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, secas, estiagens, incêndios florestais e escassez de água.

Orientador: Dr. Javier Tomasella

São José dos Campos

2024

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Santos, Felipe Augusto

Potenciais impactos das mudanças do uso do solo na produção e transporte de sedimentos na bacia do Rio Paraíba do Sul / Felipe Augusto Santos. - São José dos Campos : [s.n.], 2024.

41 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

Orientador: Javier Tomasella.

1. Análise tendência. 2. Fluviometria. 3. Sedimentometria. 4. Uso do solo. 5. Transporte de sedimento. I. Tomasella, Javier, orient. II. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. IV. Universidade Estadual Paulista (Unesp). V. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Impacta nas políticas públicas de uso da água e do solo. Na ampliação e melhoria da rede fluviométrica e sedimentométrica. Reforçando os impactos das mudanças climáticas e dos desastres socioambientais, principalmente na foz do Rio Paraíba do Sul. São Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), presentes nesta dissertação 6, 11 e 13.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Impacts on public policies for water and soil use. In expanding and improving the fluviometric and sedimentometric network. Reinforcing the impacts of climate change and socio-environmental disasters, mainly at the mouth of the Paraíba do Sul River. The Sustainable Development Goals (SDG), present in this dissertation, are 6, 11 and 13.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Javier Tomasella (Orientador)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Campus Cachoeira Paulista

Dra. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Instituição Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus São José dos Campos

Dra. Rita de Cássia von Randow

Faculdade de Tecnologia - Fatec
Campus Jacareí

São José dos Campos, 19 de fevereiro de 2024.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP e ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden.

Ao Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais.

Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais, em especial, ao meu orientador Dr. Javier Tomasella.

À minha família, em especial, à minha mãe Marlene, meu pai Vanderlei, minha irmã Fabrícia e minha companheira Fernanda, por todo apoio e por acreditarem em mim e na educação.

À meus mestres de outros tempos, em especial, à Rita e ao Eduardo (*in memorian*), os quais espero fazer jus ao legado.

“Você tem que assumir o compromisso que vai ensinar tudo o que lhe ensinei para quem precisar. E enquanto você ou alguém que aprendeu com você está ensinando, passando para frente o nosso conhecimento. Eu estarei vivo, mesmo enterrado”. **Nêgo Bispo**

RESUMO

SANTOS, F. A. **Potenciais impactos das mudanças do uso do solo na produção e transporte de sedimentos na bacia do Rio Paraíba do Sul.** 2024. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

A bacia do Rio Paraíba do Sul é uma das mais importantes do Brasil. Responsável por abastecer grandes centros metropolitanos como São Paulo e Rio de Janeiro. Sendo submetida a forte pressão antrópica devido à urbanização e os usos múltiplos de suas águas. No decorrer dos anos, a grande necessidade de água para abastecimento e geração de energia, além da regularização do fluxo, foram responsáveis pela criação de barragens, represas e grandes obras de transposição. Neste contexto, o presente projeto de pesquisa tem por objetivo compreender se as mudanças de uso do solo e as tendências hidrometeorológicas têm influência no transporte de sedimentos. Para a construção deste cenário foram utilizados dados disponíveis no Portal Hidroweb da ANA e dados do Projeto MapBiomass para uso do solo e transição de uso dos anos de 1985 e 2021. Sendo realizada análise de tendência para cada um dos parâmetros hidrometeorológicos e de transporte de sedimento, bem como a análise comparativa entre o uso do solo no ano de 1985 e o ano de 2021. Os resultados demonstram de maneira geral ausência de tendências significativas de precipitação. Predominância de tendências positivas de vazão e transporte de sedimentos. A partir desta tendência positiva de transporte de sedimento foi realizada a análise de concentração para o ano hidrológico de 2017-2018. Esta análise resultou em um comportamento de aumento de concentração, o que é um indicativo da ocorrência de processos erosivos. Tendências positivas de intensidade em áreas suscetíveis à erosão. Em relação ao uso do solo observou-se aumento da urbanização, mineração e cobertura vegetal. Esses aumentos estão relacionados à diminuição das áreas associadas à pastagem. Esses dois fatores justificam as tendências positivas de vazão. Atualmente a quantidade de sedimentos que chegam na estação de Campos é de 345 toneladas por ano. A partir das análises realizadas neste trabalho pode-se afirmar que os fatores pluviométricos têm pouca influência. As intensidades positivas em área suscetíveis são um fator de produção de sedimento, além de mudanças de uso relacionadas à mineração. Para estudos futuros recomenda-se a possibilidade de análises amostrais da água e do sedimento do rio, bem como análise sobre a influência das dinâmicas oceânicas.

Palavras-chave: análise tendência; pluviometria; fluviometria; sedimentometria; intensidade; uso do solo; transporte de sedimento.

ABSTRACT

SANTOS, F. A. **Potential impacts of changes in land use on the production and transport of sediments in the Paraíba do Sul River basin.** 2024. Dissertation (Master's degree in Natural Disasters) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Institute of Science and Technology; National Center for Natural Disaster Monitoring and Alerts (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

The Paraíba do Sul River basin is one of the most important in Brazil. Responsible for supplying large metropolitan centers such as São Paulo and Rio de Janeiro. Being subjected to strong human pressure due to urbanization and the multiple uses of its waters. Over the years, there was a great need for water to supply and generate energy, in addition to regulating the flow, they were responsible for the creation of dams, dams and large transposition works. In this context, the present research project aims to understand land use changes and hydrometeorological trends that influence sediment transport. To construct this scenario, data available on the ANA Hidroweb Portal and data from the MapBiomas Project for land use and use transition from 1985 and 2021 were used. Trend analysis was carried out for each of the hydrometeorological and sediment transport parameters. , as well as the comparative analysis between land use in 1985 and in 2021. The results generally demonstrate the absence of significant trends in occurrences. Predominance of positive trends in flow and sediment transport. Based on this positive trend in sediment transport, a concentration analysis was carried out for the hydrological year 2017-2018. This analysis resulted in an increasing concentration behavior, which is an indication of the occurrence of erosive processes. Positive trends in intensity in areas susceptible to erosion. In relation to land use, an increase in urbanization, mining and vegetation cover was observed. These increases are related to the decrease in areas associated with pasture. These two factors justify the positive flow trends. Currently the amount of sediment arriving at the Campos station is 345 tons per year. Based on the analysis carried out in this work, it can be stated that rainfall factors have little influence. Positive intensities in susceptible areas are a factor in sediment production, in addition to changes in use related to mining. For future studies, the possibility of sampling analyzes of the river's water and sediment is recommended, as well as analysis of the influence of ocean dynamics.

Keywords: analysis trend; pluviometry; fluvimetry; sedimentometry; intensity; use of the soil; sediment transport.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CEIVAP	Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
DJF	Dezembro Janeiro Fevereiro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SPI	Standardized Precipitation Index

SUMÁRIO

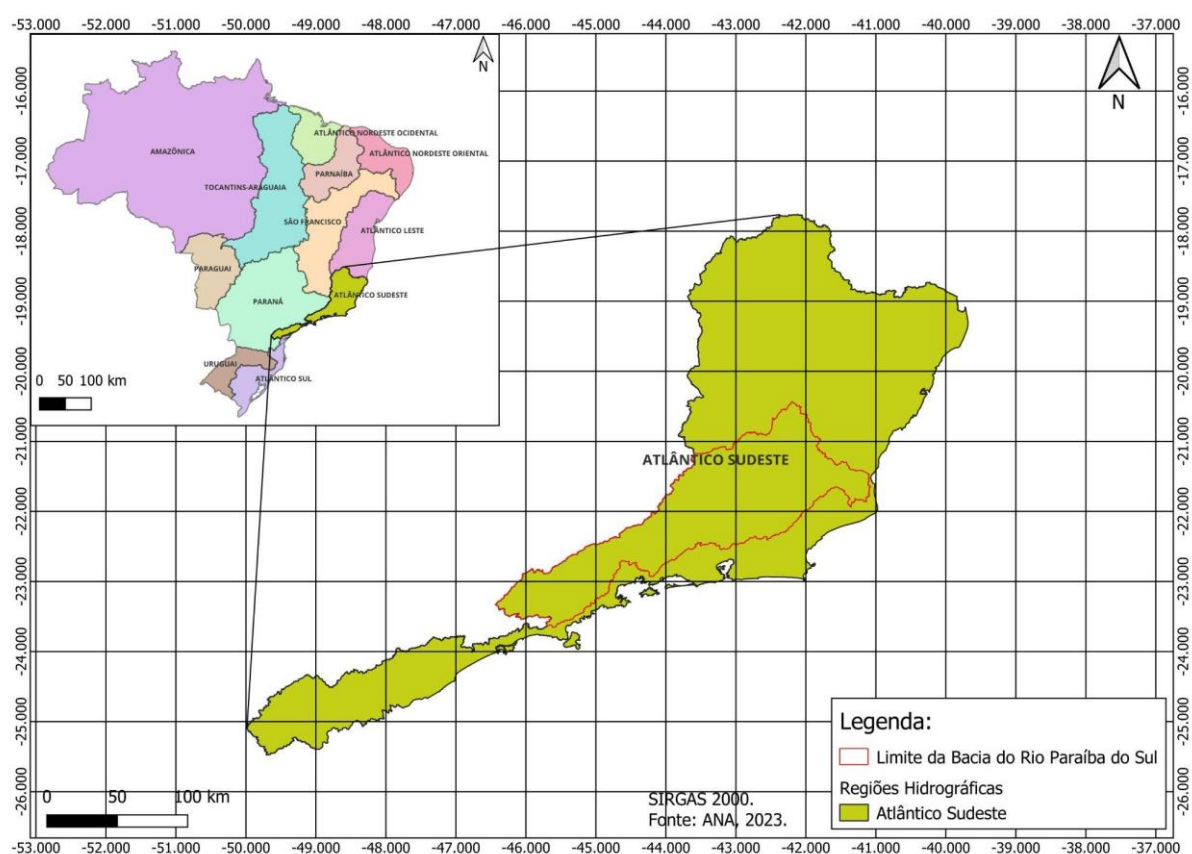
1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Tendências hidrológicas na bacia	15
2.2. A foz do Rio Paraíba do Sul	16
3 PROPOSTA DE PESQUISA.....	19
3.1. Objetivo principal	19
3.2. Objetivo específicos	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. Materiais	20
4.1.1. Área de estudo	20
4.1.2. Climatologia.....	22
4.1.3. Geomorfologia	23
4.1.4. Pedologia	24
4.1.5. Vegetação	25
4.2 Métodos	27
4.2.1 Base de dados.....	27
4.2.2 Análise Estatística Mann-Kendall	28
4.2.3 Delimitação sub-bacias	29
4.2.4 Uso do solo.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA) subdividiu o Brasil, através do instrumento legal da Resolução nº32 BRASIL (2003), em 12 regiões hidrográficas de acordo a similaridades econômicas, ambientais e sociais.

Segundo dados da ANA (2015), a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste é a segunda região mais populosa, com grande relevância e desenvolvimento econômico e área correspondente a 2,5% do território nacional que inclui mais de 500 municípios em 5 estados, sendo divididos em 5 unidades hidrográficas dentre as quais destaca-se a do Paraíba do Sul, a qual é objeto do presente estudo (Figura 1).

Figura 1 - Regiões hidrográficas do Brasil com destaque para a região Atlântico Sudeste



Fonte: Dados adaptados ANA, 2023.

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul ocupa três estados, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro e apresenta grande importância por estar ligada ao abastecimento de grandes

centros populacionais e econômicos como São Paulo e Rio de Janeiro. A bacia sofre com fortes processos de antropização, através da urbanização e industrialização, gerando degradação ambiental, com uso intensivo do recurso hídrico para agricultura, indústria e abastecimento, além da grande descarga de efluentes que comprometem tanto a qualidade, quanto a quantidade de água disponível (DEMANBORO, 2015).

Segundo Neves e Vilanova (2010), a bacia Rio Paraíba do Sul pode ser tratada como um sistema hidráulico, uma vez que suas águas transcendem os limites da bacia através das transposições realizadas em seu curso, tendo grande importância para a região do Vale do Paraíba e para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro através da transposição para o rio Guandu realizada nos anos 50 retirando do Rio Paraíba do Sul cerca de $(100 \text{ m}^3/\text{s})$ de água, e mais recentemente para a Região Metropolitana de São Paulo através do Sistema Cantareira $(5 \text{ m}^3/\text{s})$.

O rio Paraíba do Sul é o principal ambiente lótico do estado do Rio de Janeiro, esses ambientes se caracterizam por um fluxo de água que se desloca constantemente da nascente até a foz, além de ser responsável por 80% do abastecimento de água do estado e 20% da produção de energia (ARAÚJO, 1998).

Devido a essa importância para o estado do Rio de Janeiro, entre os anos de 2014 e 2015 houve um conflito na gestão hídrica. A necessidade de água para região metropolitana de São Paulo que foi altamente impactada pela crise hídrica dos anos 2013 e 2014, gerou o processo de transposição das águas do Paraíba do Sul através do reservatório do Jaguari, para o sistema Cantareira como uma possível solução, causando preocupação aos fluminenses (CAVALCANTI e MARQUES, 2016).

De acordo com Marengo e Alves (2014), através de estudos realizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), a ausência de chuvas que causou a seca nos anos de 2013/2014 foi um evento totalmente atípico. No qual a zona de alta pressão impedia a entrada de frentes frias e umidade amazônica e, conseqüentemente, a formação de nuvens de chuva no estado de São Paulo.

O transporte de sedimento decorrente de processos erosivos, segundo Carvalho et al. (2000) e Guo et al. (2018), é natural com o transporte de material fragmentado através do vento e/ou da água, podendo ser intensificado pela ação antrópica com grande aumento das taxas de erosão devido a esta interferência, que decorrem de mudanças do uso do solo, práticas inadequadas de manejo no ambiente rural, quanto no ambiente urbano. Essas mudanças podem

alterar redes de drenagem, desde aumento do número de curso d'água até a mudanças de percurso desses cursos.

Com as mudanças climáticas é esperado que a distribuição espacial e temporal de chuvas seja modificada. Bem como suas intensidades, gerando vazões e processos erosivos mais intensos, aumentando a produção de sedimento que pode gerar diversas outras consequências ambientais, sociais e econômicas. Tais como mudanças na incidência de luz, de nível dos corpos d'água, afetando a pesca e a vida aquática. O aumento de sedimentos impacta negativamente o tratamento de água, esses são só alguns exemplos.

Esses impactos são citados no relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC (2019), intitulado “Mudanças Climáticas e Terra”. Evidenciando a necessidade da coleta de dados para a realização de análises sedimentométricas. No Brasil, os dados oficiais são coletados a partir de postos fluviométricos existentes, com coletas diretas e indiretas.

Os indicadores de mudanças do uso do solo nos últimos anos, em consonância com o relatório do IPCC sobre aporte de sedimento e perda de solo, podem ser fatores que impactam a região da foz do Rio Paraíba do Sul, que sofre graves problemas de erosão costeira, avanço do mar e cunha salina. Os processos podem ser explicados por fatores tais como circulação costeira, aporte sedimentar ineficiente com retenção na plataforma continental, balanço sedimentar negativo, elevação do nível do mar, entre outros motivos (RIBEIRO et al., 2005).

Entender as causas desse problema é fundamental tendo em vista que essas mudanças causam impactos negativos na captação de água para abastecimento no município de São João da Barra localizado na foz, causam mudanças na vida aquática (fauna e flora) e nos mangues, além da destruição de centenas de casas, prédios, ruas inteiras, comércios, dentre outras estruturas físicas como noticiado por veículos de imprensa (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Casas destruídas na costa de São João da Barra -RJ



Fonte: BATISTA, F. UOL, 2022.

Figura 3 - Avanço do mar sobre as casas em São João da Barra



Fonte: BATISTA, F. UOL, 2022.

Deste modo, esta pesquisa busca compreender a influência das mudanças de uso do solo e das tendências hidrometeorológicas e sua influência no aporte de sedimento e sua possível relação com impactos negativos observados.

O texto a seguir está organizado da seguinte forma: a presente Seção é destinada a introdução da temática; na Seção 2 são discutidos elementos teóricos acerca das tendências

hidrometeorológica da bacia do rio Paraíba do Sul, aspectos sobre sua foz, bem como as modificações presentes na mesma; na Seção 3 estão listados os objetivos geral e específicos desta pesquisa proposta; na Seção 4 são apresentadas as características e delimitações da área de estudo e dos dados utilizados, bem como os métodos propostos; na Seção 5, estão os resultados e discussões, apresentando o que os comportamentos observados na análise de tendências, as mudanças de uso do solo observadas e as discussões que foram possíveis de serem realizadas a partir destes resultados; e na Seção 6 são abordadas as conclusões deste estudo, bem como as possibilidades de estudos futuros e fragilidades encontradas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Tendências hidrológicas na bacia

As bacias hidrográficas, de uma forma geral sofrem com as variações de vazão de acordo com a sazonalidade, sendo este um comportamento normal em região com períodos chuvosos e secos bem determinados como a bacia do Rio Paraíba do Sul. Porém, esta bacia apresenta o comportamento de grande regularidade das vazões, esse comportamento se justifica pela presença de represamentos e barramentos ao longo de seu percurso.

Marengo e Alves (2005), analisaram diversos postos pluviométricos dentro da bacia do rio Paraíba do Sul, para o período de 1930 a 2000, verificando que não houve tendência significativa de acréscimo ou decréscimo no regime pluviométrico durante o trimestre chuvoso (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), embora exista significativa variação no regime fluviométrico a qual não parece estar associada ao regime de chuvas.

Andrade et al. (2018), realizaram a análise de tendência de 220 estações ao longo da bacia, seguindo a metodologia já conhecida e aplicada por outros autores, com aquisição de dados junto ao Portal HidroWeb, posteriormente obtendo as tendências de cada estação estudada.

Como resultado desta análise tem-se que apenas 34 estações mostraram algum tipo de tendência significativa, sendo 17 estações com tendências positivas e as outras 17 tendências negativas. Os autores observaram um comportamento de tendências negativas mais intensas que as positivas, o que pode indicar a diminuição da precipitação no contexto geral da bacia.

Outro estudo que analisou estações pluviométricas de 1970 a 2018, mostra que dentro da bacia existem regiões que há uma tendência de aumento e outras com uma tendência de

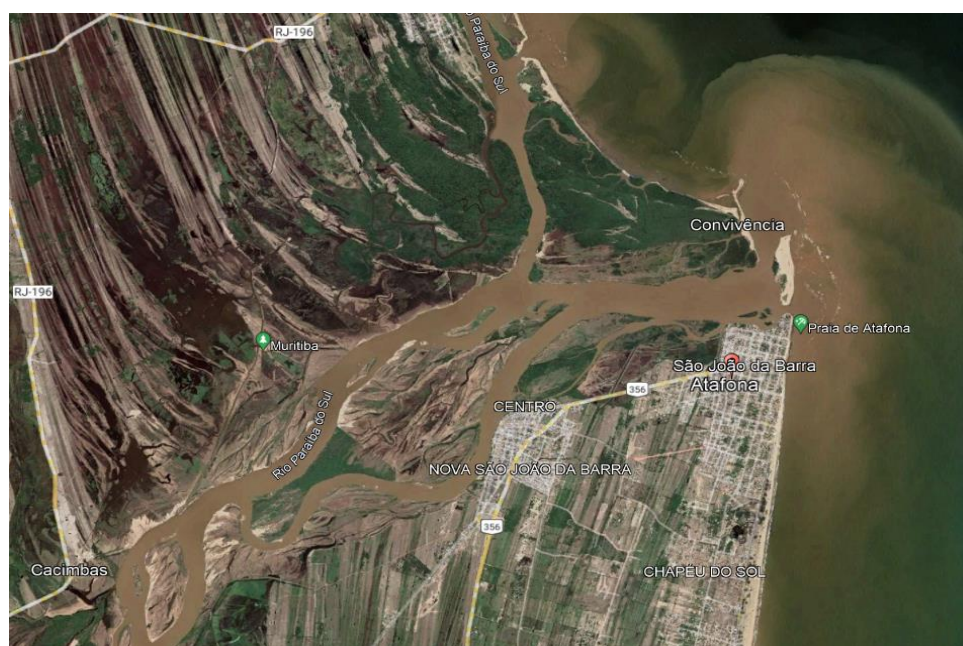
diminuição, porém as séries temporais usando o índice padronizado de precipitação anual, mostram significativa tendência negativa, o que reforça a importância de estudos que acompanhem o comportamento da bacia tanto na mesoescala (regional), quanto microescala (local/pontual) (SANTANA et al., 2020).

Mais recentemente, Oliveira et al. (2023) apresenta estudos referentes ao período de 1939-2020, analisando padrões médios, tendências e eventos extremos, bem como a distribuição da precipitação, que demonstram principalmente a ausência de tendências significativas nos regimes de chuva e a distribuição espacial de maiores precipitações na região da Serra da Mantiqueira.

2.2. A foz do Rio Paraíba do Sul

A região da foz da bacia do Paraíba do Sul, apresenta um padrão deltaico, que se caracteriza pela formação de um leque com diversos canais formados por acúmulo de sedimento transportado pelo rio e que podem ser trabalhados e retrabalhados pelo comportamento por marés, ondas, correntes e pelo próprio rio. A foz estuarina se caracteriza por não ter a deposição de sedimento formando canais, tendo a deposição nas margens laterais da foz, como demonstrado na Figura 4 na qual é possível observar a foz do Rio Paraíba do Sul.

Figura 4 - Foz deltaica do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Google Earth, 2023.

Oliveira (2015) realizou um estudo utilizando imagens de satélite ao longo de uma série histórica, este estudo teve como resultado que a região próxima da foz sobre um processo de regressão, ou seja, retirada de sedimento. Por outro lado nas áreas mais distantes da foz foi observado o processo de progradação, com a deposição de sedimento e aumento das praias.

Esse comportamento é observado por Oliveira et al. (2003), no estudo realizado na bacia do Rio São Francisco. A alta regularização modificou a vazão líquida e sólida, reduzindo o transporte de sedimento e a velocidade da correnteza no baixo São Francisco. Uma vez que a maior produção de sedimento está localizada nos trechos altos e médios da bacia, fazendo com que esse sedimento seja retido na cascata de reservatórios, assim como a velocidade seja reduzida.

Em consequência houve aumento do assoreamento do rio, sendo transportado sobretudo o sedimento mais fino e o mais grosso se depositando na calha do rio, o que causa mudança de nichos ecológicos.

Neves et al. (2021), apontam o uso do solo como um fator importante nos processos erosivos e de produção de sedimento, assim como o relevo e tipo de solos existentes. Ficando claro que os usos destinados à agropecuária se mostram um forte influenciador para o aumento da produção de sedimentos. Contudo, o uso do solo pode ser também um fator de diminuição da produção de sedimento devido a urbanização, como descrito por Henning e Mota (2018).

Outra razão que pode descrever o comportamento de diminuição de sedimentos na bacia do rio Paraíba do Sul é a transposição para o rio Guandu, que de acordo com Molisani et al. (2006), aumentou em 28% o aporte de sedimento na Bacia do Guandu.

Chu (2014), descreve que a diminuição de sedimentos pode ser multifatorial, ou seja fatores antrópicos e naturais. No caso, o estudo do Rio Amarelo, na China, mostrou que as barragens e reservatórios são os principais fatores para a redução de sedimento, seguido das práticas de conservação de água e solo, captação de água para consumo e sedimentação do canal, o que causa drásticas mudanças na foz, bem como em outras características do rio ligadas a importância do sedimento.

Estes estudos mostram que bacias com características de uso parecidas com a bacia do Rio Paraíba do Sul, podem ter comportamentos parecidos com os observados, tais como a alteração no transporte de sedimentos, redução da correnteza, em decorrência dos barramentos. Assim como aumento ou redução de sedimentos em virtude do tipo de uso do solo.

3 PROPOSTA DE PESQUISA

3.1. Objetivo principal

O presente projeto de pesquisa tem por objetivo analisar se as mudanças do uso do solo e as alterações de vazão decorrentes de variações dos regimes e intensidade das chuvas têm afetado os processos de transporte de sedimento na bacia do Rio Paraíba do Sul.

3.2. Objetivo específicos

São objetivos específicos:

- Analisar as tendências pluviométricas, fluviométricas e sedimentológicas da bacia com base nos dados de séries históricas;
- Verificar se as tendências apresentam correlação entre si;
- Analisar as mudanças históricas do uso do solo da bacia;
- Analisar as tendências das chuvas intensas;
- Examinar se as mudanças do uso de solo explicam as variações observadas no fluxo de sedimento da bacia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

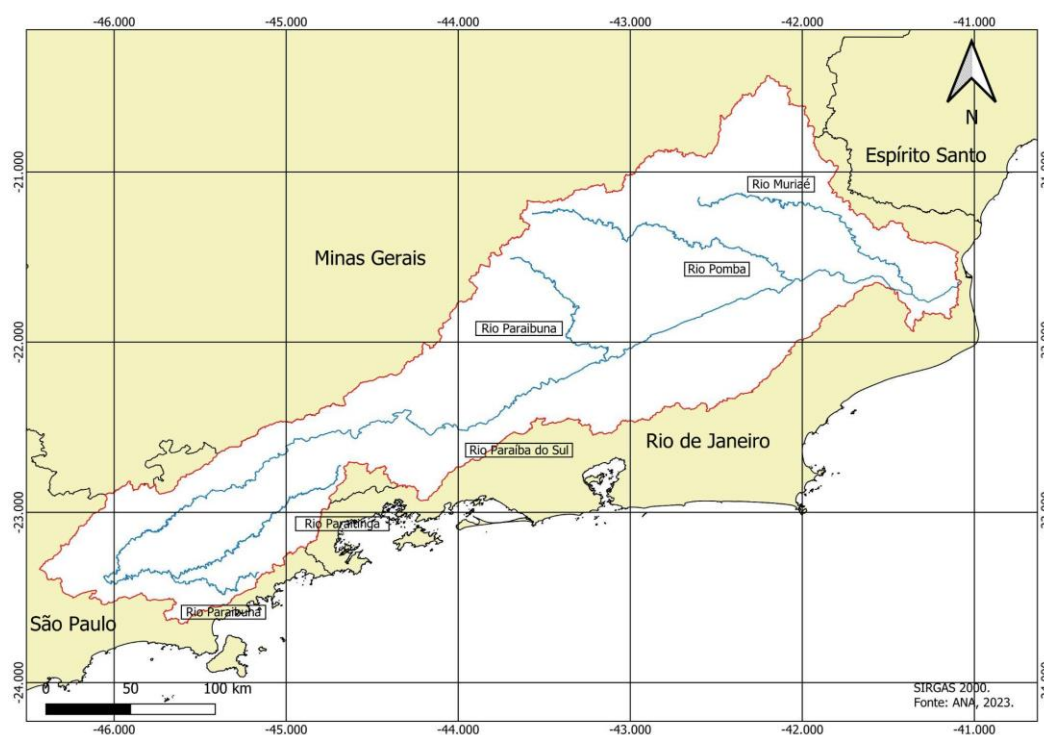
4.1. Materiais

4.1.1. Área de estudo

O rio Paraíba do Sul é formado pela confluência de dois rios o Paraibuna e o Paraitinga, sendo o ponto mais a montante e tido como a nascente a cidade de Areias, no estado de São Paulo na Serra da Bocaina a 1800m de altitude, desaguando no norte fluminense, na praia da Atafona localizada na cidade de São João da Barra, no estado do Rio de Janeiro (GRIPBSUL, 2022).

A bacia está localizada entre os paralelos 20°26' e 23°38' sul e os meridianos 41°00' e 46°30' oeste. Ao Norte seu divisor de águas se faz entre os rios Grande (bacia do Paraná) e Doce (sistema do leste brasileiro) por intermédio da Serra da Mantiqueira; ao Sul, a Serra do Mar. A Figura apresenta a delimitação da bacia e o rio principal Paraíba do Sul e seus principais afluentes: Paraibuna, Paraitinga, Paraíba (esse nascendo no estado de Minas Gerais), Pomba e Muriaé.

Figura 5 - Bacia do Rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes

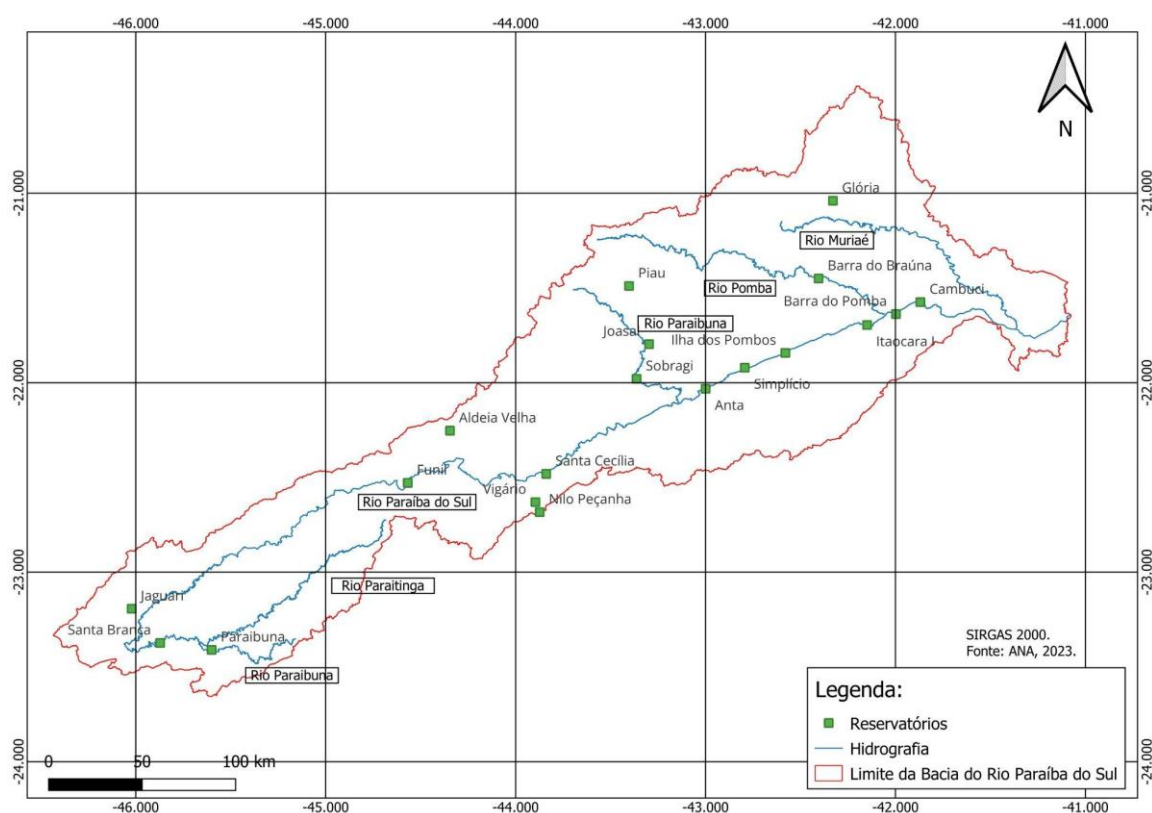


Fonte: Dados adaptados ANA, 2023.

Segundo o Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP) 2021, a bacia é composta por 184 municípios e uma população estimada de 6,7 milhões de habitantes. No entanto, a bacia é responsável pelo abastecimento de 15 milhões de pessoas, por conta das transposições existentes. A rede de drenagem da bacia ocupa aproximadamente 62000 km², dividida entre 25% no estado de São Paulo, 36% em Minas Gerais e 39% no Rio de Janeiro. Com relação à água consumida, o Rio de Janeiro utiliza 66%, São Paulo 24% e Minas Gerais apenas 10%.

A bacia possui quatro grandes reservatórios, sendo na porção paulista Jaguari, Paraibuna e Santa Branca e na porção carioca Funil. Juntos esses reservatórios têm capacidade de armazenamento de mais de 7 bilhões de metros cúbicos. Existem ainda outros reservatórios com grande importância local como Santa Cecília (onde ocorre a transposição do Rio Paraíba do Sul), Anta, Sobragi, Barra do Braúna, Ilha dos Pombos, entre outros (GALVÃO e BERMANN, 2015).

Figura 6 - Principais Reservatórios da Bacia do Rio Paraíba do Sul



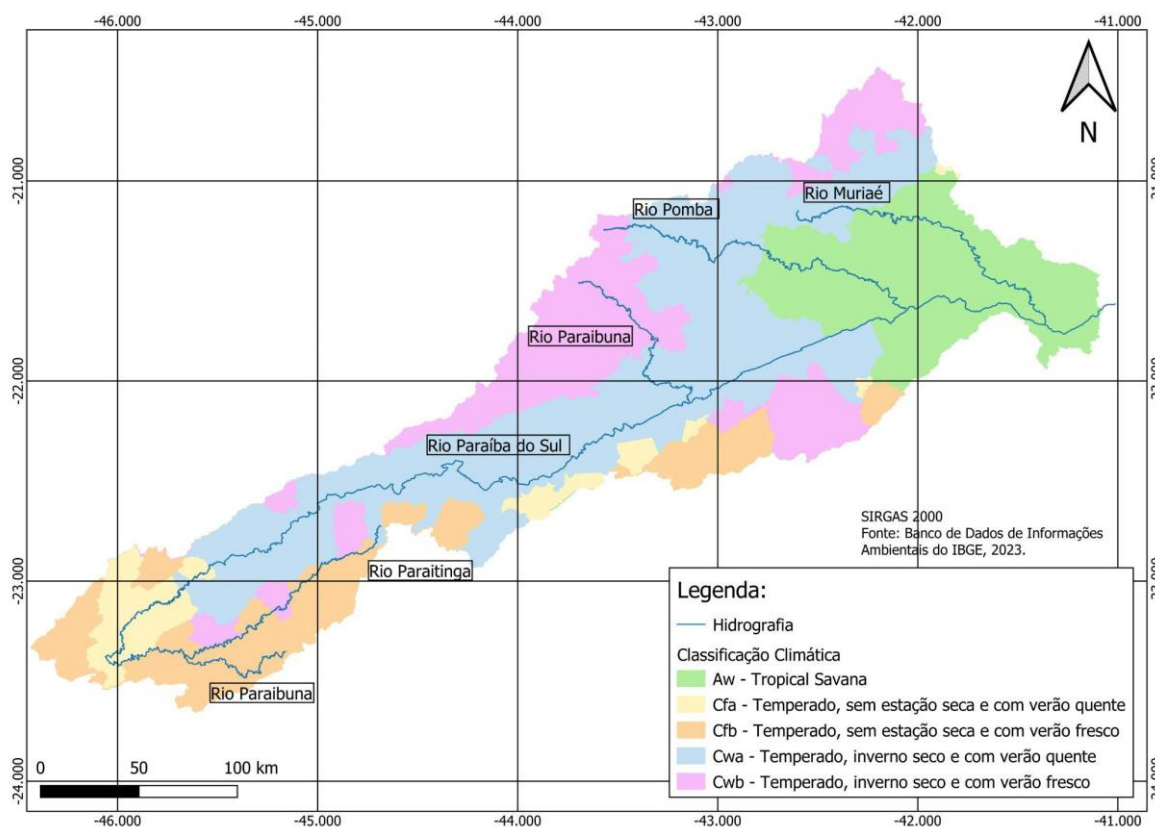
Fonte: Dados Adaptados ANA, 2023.

4.1.2. Climatologia

Devido sua grande extensão, a bacia apresenta climatologia da precipitação muito diversa, com regiões montanhosas na Serra da Mantiqueira, Serra da Bocaina e Serra do Mar, com índices superiores a 1500 mm, chegando até 2000 mm por ano, em altitudes menores e mais próximas da calha do rio os índices se aproximam de 1000 mm anuais (BRASILIANSE et al., 2020). As precipitações na bacia se concentram no período de outubro a março, o que representa 80% da pluviosidade anual (MARENGO e ALVES, 2005).

O aspecto climatológico da região relacionados à temperatura apresentam, de modo geral, médias anuais entre 16°C e 22°C, com uma grande variedade de características como nas regiões serranas com médias mínimas de 10°C e na região norte da bacia, região da foz do rio Paraíba do Sul, com máximas médias de 32°C (BRASILIANSE et al., 2020, CEIVAP, 2021). De acordo com a classificação climática de Köppen, a bacia apresenta 7 classes, destacando-se 5 que compõem a maior parte do clima local, como demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Classificação Climática da Bacia do Rio Paraíba do Sul



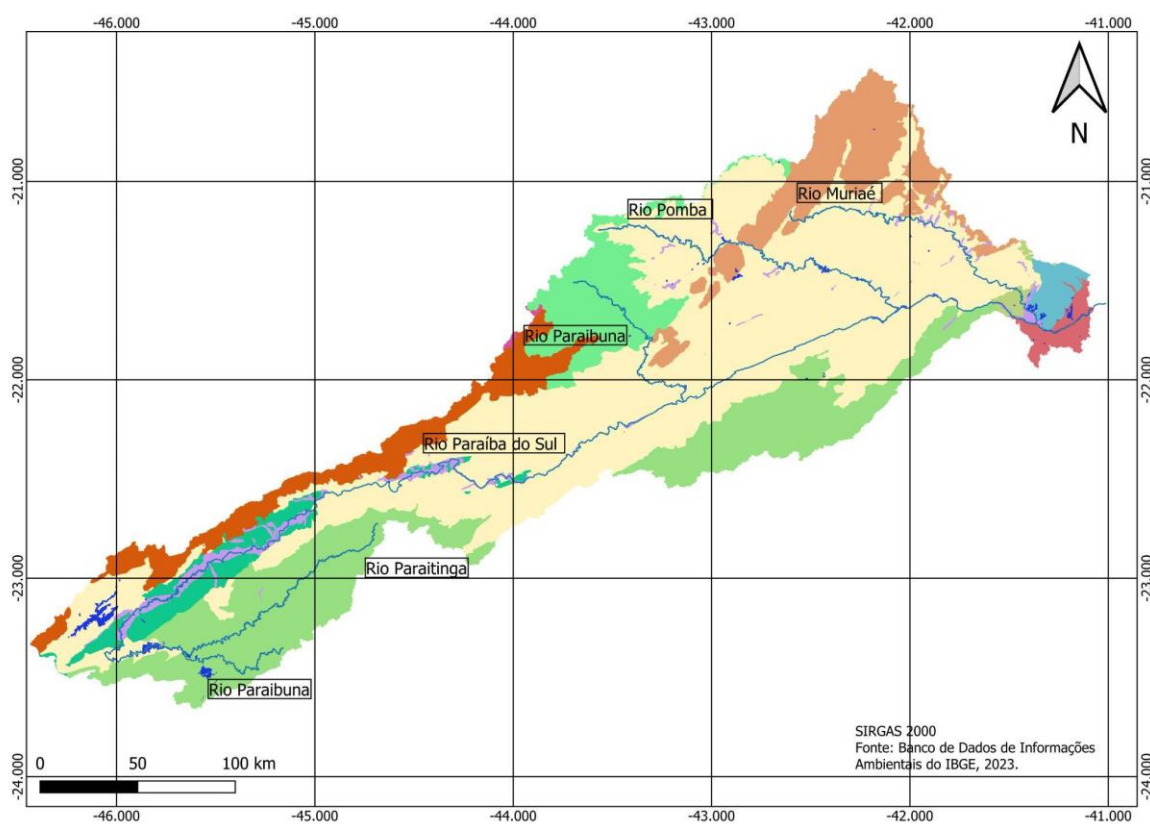
Fonte: Dados adaptados Banco de Dados de Informações Ambientais do IBGE, 2023.

As características climáticas são fatores que influenciam diretamente na produção de sedimento, tais como chuvas, umidade, ventos, temperatura que estão ligados ao intemperismo que produz o sedimento e ao transporte dele. É importante ressaltar que as características climáticas também estão ligadas ao tipo de cobertura vegetal (fitofisionomia de uma região), o que também impacta na produção de sedimento e na produção e decomposição da matéria orgânica que recobre o solo.

4.1.3. Geomorfologia

A geomorfologia está associada a formação do relevo com formações geológicas distintas, sejam as serras que formam a bacia e as depressões por onde a bacia é drenada. Essas características indicam áreas que são mais propensas a produzir e transportar sedimentos, como as regiões declivosas e áreas de deposição de sedimento como as depressões. Dentro da bacia de estudo podem ser vistas essas características descritas, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Classificação Geomorfológica da Bacia do Rio Paraíba do Sul



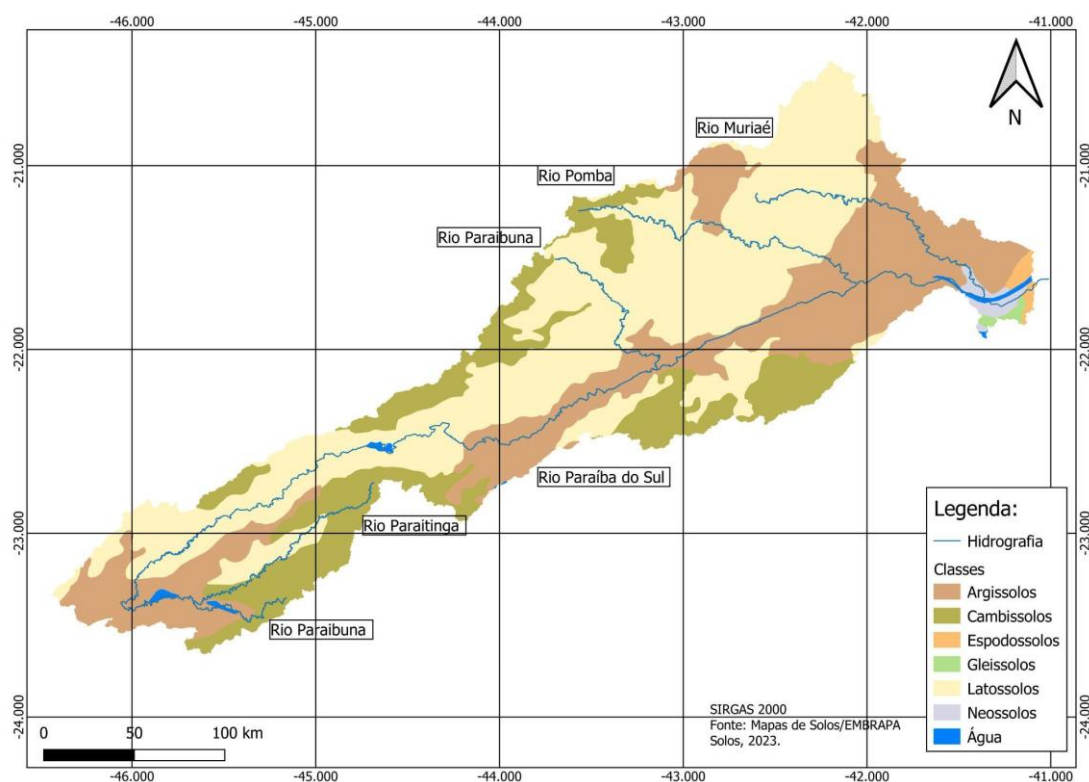


Fonte: Dados adaptados Banco de Dados de Informações Ambientais do IBGE, 2023.

4.1.4. Pedologia

A pedologia está relacionada com os tipos de solos existentes em uma determinada região. Isso pode indicar predominância de solos com característica argilosa, arenosa, em que condições climáticas foram desenvolvidos. Os tipos de solo aqui apresentados foram definidos no Mapa de Solos do Brasil da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na classificação gerada para a bacia de estudo observa-se predominância de argissolos e latossolos, como demonstrado na Figura 9.

Figura 9 - Classificação Pedológica da Bacia do Paraíba do Sul



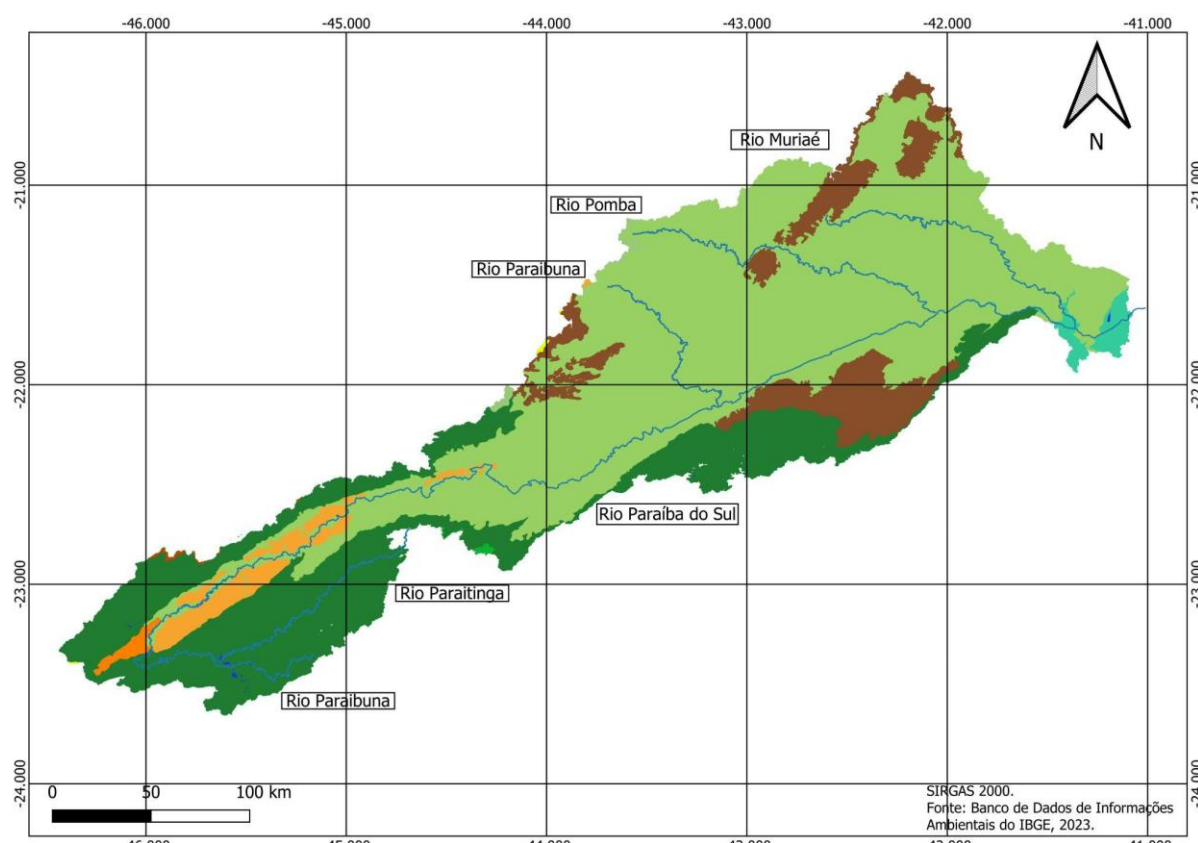
Fonte: Dados adaptados Mapas de Solos/EMBRAPA Solos, 2023.

Dentre os tipos de solos existentes na bacia, um se destaca na produção de sedimento nas condições observadas. Os cambissolos em condições de elevada declividade e de usos do solo que não promovem a proteção deste solo, são fatores que o tornam suscetível a maior erodibilidade.

4.1.5. Vegetação

A vegetação na bacia se caracteriza de modo geral pelo domínio do bioma Mata Atlântica, com intrusões de cerrado e grande variabilidade de fitofisionomias dentro destes domínios (MORELLI et al., 2003). Na Figura 10 é possível observar a predominância das formações de floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual, e áreas de contato com floresta ombrófila e floresta estacional.

Figura 10 - Classificação da Vegetação na Bacia do Rio Paraíba do Sul





Fonte: Dados adaptados Banco de Dados de Informações Ambientais do IBGE, 2023.

Como observado a bacia apresenta grande predominância de vegetação arbórea, o que reduz o impacto da chuva sobre o solo, permite maior tempo para infiltração da água e protege o solo de ventos. Esses fatores são importantes para a diminuição da produção e transporte de sedimentos, tendo em vista que também funcionam como barreiras para o sedimento já produzido.

4.2 Métodos

4.2.1 Base de dados

Para atingir os objetivos propostos foram estudadas as séries históricas pluviométricas, fluviométricas, acumulados de chuvas para 24 horas e dados sobre o transporte de sedimentos existentes da bacia do Paraíba do Sul. Para a obtenção dessa base de dados foram utilizados os dados existentes no Portal do HidroWeb da Agência Nacional de Águas, que reúne dados do Serviço Geológico do Brasil através da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), CEMADEN, entre outros parceiros públicos e privados.

A princípio existem em operação 711 estações com medições pluviométricas que início médio a partir de 1940, 451 fluviométricas com dados a partir de 1940, 80 sedimentométricas com início médio a partir de 1989 e 47 de acumulados de chuvas para 24 horas a partir de 2014. Foram utilizadas estações as quais os dados fossem mais robustos, ou seja, os que apresentam maior integridade e menor número de lacunas, sendo dados brutos e consistidos.

Para efeito de estudo foram consideradas somente estações que apresentassem séries históricas maiores que 30 anos para dados pluviométricos e 15 anos para estações

fluviométricas e sedimentométricas e que apresentassem pelo menos 90% de dados válidos dentro dos dados medidos. Deste modo o número de estações utilizadas é demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Número de estações existentes, utilizadas e os períodos da base de dados

Estações	Existentes	Utilizadas	Período
Pluviométricas	711	168	1940 a 2022
Fluviométricas	451	45	1940 a 2022
Sedimentométricas	80	6	1989 a 2021
Acumulados de Chuvas para 24h	47	47	2014 a 2021

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Análise Estatística Mann-Kendall

O teste de hipótese é um método para confirmar se a hipótese proposta é verdadeira ou não, se pode ser aceita ou rejeitada, sendo obtido através dos de um conjunto de dados coletados, que podemos denominar “população”. A análise parte de duas hipóteses, a nula (H_0) que será o teste se a hipótese for “verdadeira” e a alternativa (H_1) que é uma afirmação diferente da hipótese nula, mas que ambas se complementam. Para aplicação deste tipo de teste alguns passos precisam ser seguidos:

- (i) Formular as hipóteses nula (H_0), alternativa (H_1);
- (ii) Especificar o nível de significância (α);
- (iii) Definir o teste mais adequado;
- (iv) Definir a região de rejeição de (H_0) diante a distribuição amostral;
- (v) Calcular o valor de p e verificar se a decisão estatística da (H_0) é rejeitada ou não.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R, com os dados obtidos das bases do Portal HidroWeb, seguindo o método de Mann-Kendall, que é um teste não paramétrico, ou seja, podendo ser utilizado em dados que não obedecem parâmetros da curva normal e que auxilia na identificação de incremento, decremento ou ausência de tendência sobre

uma série histórica. Esse método tem sido amplamente utilizado para análises hidrometeorológicas e sedimentológicas e descrito em diversos estudos (BERNAL et al., 2006, LÓPEZ et al., 2015, MARENGO e ALVES, 2005, OLIVEIRA et al., 2021).

Segundo o teste de Mann-Kendall, através de uma série temporal de uma amostra com “n” variáveis aleatórias e independentes e identicamente distribuídas, a somatória da diferença dos sinais entre os valores (X_i) e os seus futuros valores (X_j), obtém-se o coeficiente de Mann-Kendall representado pela letra “S”, sendo que S positivo há tendência de aumento e quando esse valor é negativo a tendência é de diminuição.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j)$$

O teste de Mann-Kendall é bicaudal, sendo que a hipótese nula deve ser rejeitada quando o valor de Z for superior $Z_{\alpha/2}$, alpha é o nível de significância, é comum se utilizar 1% ou 5%. No presente estudo foi admitido o limiar de 5% de significância.

Se as tendências de vazão e transporte de sedimentos se mostrarem negativas, confirmando a hipótese proposta, isso irá corroborar com os estudos anteriormente citados OLIVEIRA et al., (2003); CHU, (2014) e OLIVEIRA, (2015) que descrevem a clara influência dos represamentos no comportamento hidrossedimentológico das bacias e consequentemente a mudança nas características da foz.

4.2.3 Delimitação sub-bacias

Em decorrência do número de estações com dados sedimentares significativos, foram delimitadas sub-bacias dentro da bacia principal do Paraíba do Sul, considerando as estações como seus exutórios. Deste modo se torna possível compreender a influência de cada sub-bacia no aporte de sedimento, bem como sua relação com o uso do solo.

Essas sub-bacias foram delimitadas usando um Modelo Digital de Elevação derivado do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e adquiridos no portal da EMBRAPA. Sendo posteriormente exportados para o software QGIS 3.28.3, no qual foi realizada a geração de uma camada de elevação e depressão das superfícies, em seguida foi gerada a rede de drenagem e as vertentes e por fim definido o exutório da sub-bacia.

4.2.4 Uso do solo

Os dados brutos referentes ao uso do solo da bacia foram baixados do Projeto MapBiomas a partir da ferramenta (Toolkit) do Google Earth Engine. Através dessa ferramenta foram selecionados os produtos e épocas necessárias para a análise (Gorelick et al., 2017). Após a utilização da ferramenta, foram selecionados para download os anos de 1985 e o de 2021 que compõem a Coleção 7.

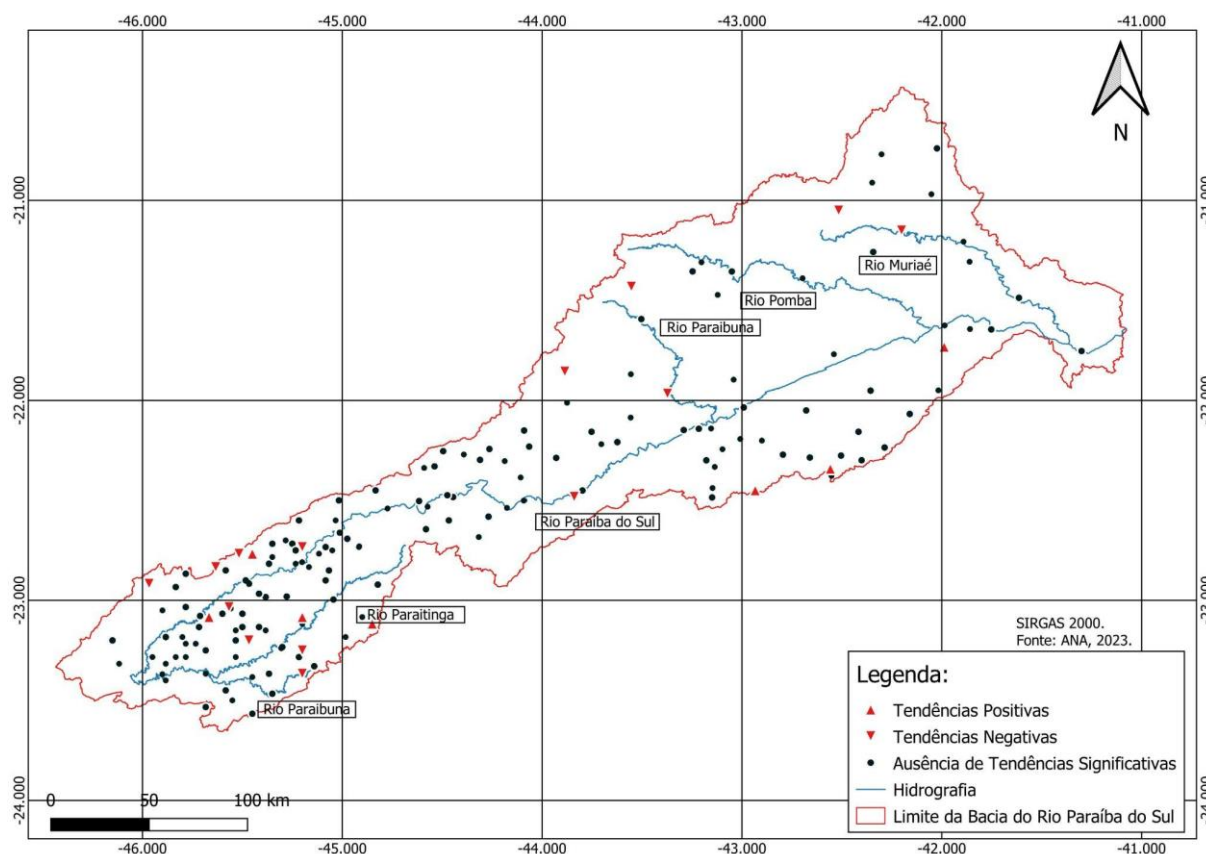
Esses dados foram baixados com uma camada máscara que representa a delimitação da bacia, assim otimizando o tempo de download e o processamento das imagens. Posteriormente no QGIS, esses dados foram aplicados para a bacia como um todo e para as sub-bacias delimitadas, observando as mudanças ocorridas entre os anos analisados.

Outros dados importantes que foram extraídos do Projeto MapBiomas, são específicos sobre a transição de uso, ou seja, é a verificação se a classe descrita em 1985, se manteve ou se houve alteração de classe em relação ao ano de 2021. Mais uma vez foi utilizada a delimitação da bacia como base e posteriormente quantificada estatisticamente as áreas com transição ou com manutenção de classe.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação aos dados trabalhados da pluviosidade da bacia, foram analisadas 168 estações, das quais 146 não apresentaram tendências significativas de crescimento ou decréscimo, outras 14 apresentaram tendências negativas e apenas 8 apresentaram tendências positivas. A distribuição de estações e sua tendências e ausência de tendências podem ser observadas na figura 11.

Figura 11 - Distribuição e representação das tendências pluviométricas na Bacia do Rio Paraíba do Sul

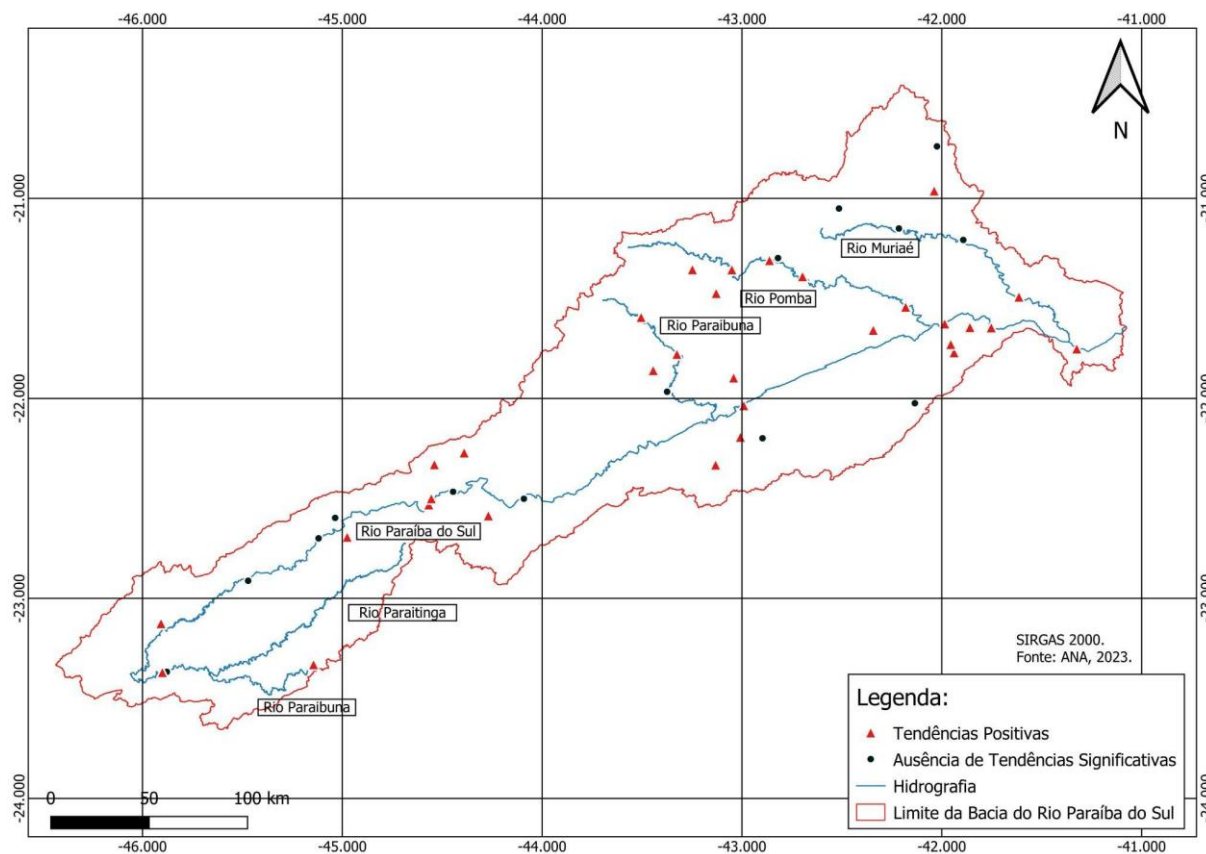


Fonte: Elaborado pelos autores.

A ausência de tendência em quase 87% das estações indica que o regime de chuvas na bacia ao longo das séries históricas analisadas não sofreu grandes alterações, ou seja, a quantidade de chuva incidente continua quase a mesma, esse fato é corroborado com outros estudos já apresentados anteriormente como Santana et al., (2020) e Oliveira et al., (2023).

Também foram analisadas as vazões, que podem refletir comportamentos pluviométricos anteriormente observados. Outros fatores podem influenciar as vazões tais como uso do solo ou processos de regularização do rio realizados por barramentos. Foram analisadas 45 estações, das quais 17 não apresentaram nenhum tipo de tendência significativa, 28 apresentaram tendência de crescimento e nenhuma estação apresentou tendência de decréscimo. A Figura 12 demonstra a distribuição bem como o comportamento respectivo.

Figura 12 - Distribuição e representação das tendências fluviométricas na Bacia do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Elaborado pelos autores.

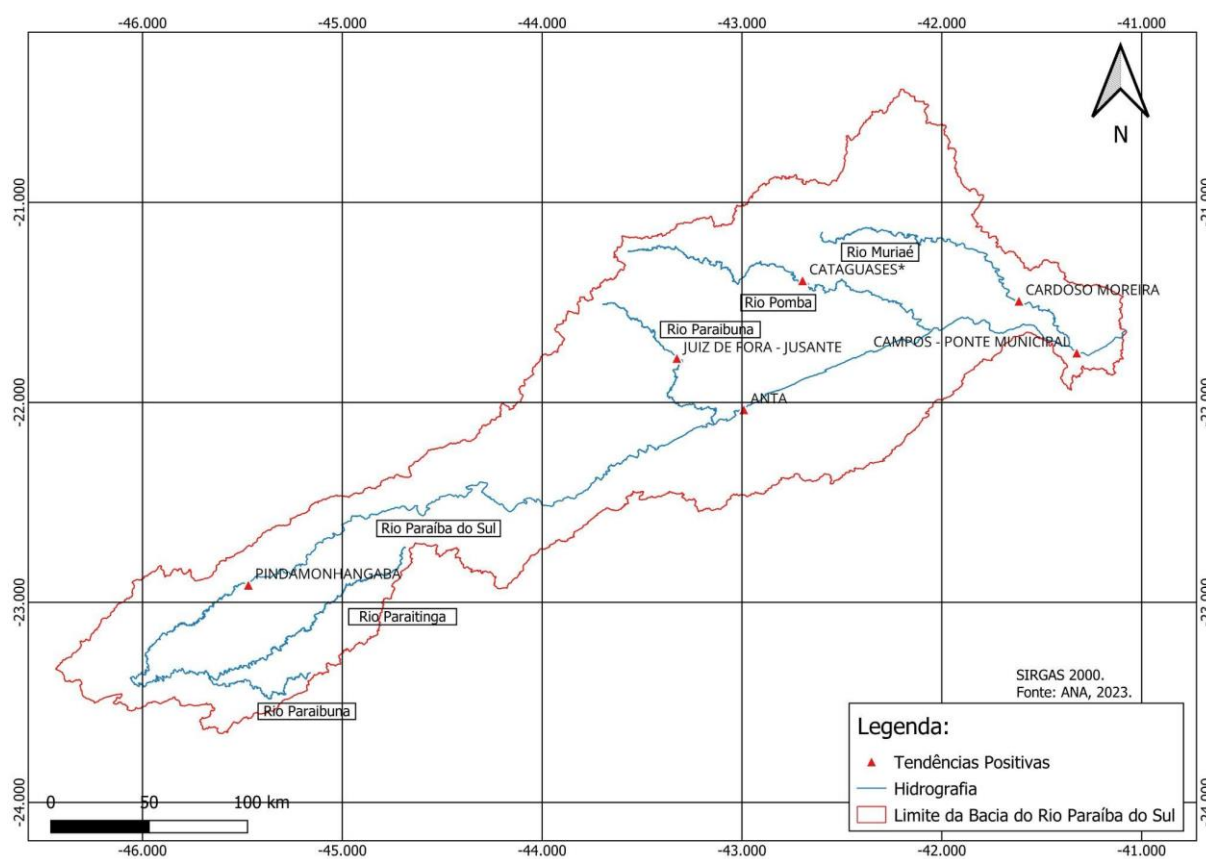
Em mais de 60% das estações fluviométricas foi observada a tendência de aumento das vazões, o que pode indicar influências de mudança do uso do solo na bacia. Por exemplo, a expansão urbana ou diminuição de área florestal. Essa possibilidade se dá por conta das tendências pluviométricas não se mostrarem significativas a ponto de serem responsáveis pela tendência de crescimento das vazões.

Foram analisadas de maneira pontual outras duas estações que não apresentaram uma série histórica longa e robusta o suficiente, mas que apresentam informações importantes para o momento atual e para a análise do contexto estudado, pois são as duas mais próximas da transposição do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu. Dados atualizados do Portal Hidroweb indicam que a montante da transposição a vazão do Rio Paraíba do Sul é de 208 m³/s e a jusante é de 75,5 m³/s, esses valores são variáveis de acordo com a disponibilidade hídrica, mas sempre giram em torno de uma redução de $\frac{2}{3}$ do volume original. Esse volume só volta a ser recomposto na estação de Campos, após acréscimo, principalmente, das vazões dos rios Pomba e Muriaé.

Atualmente a estação de Campos apresenta vazões de 300 m³/s, mas sem a transposição essa vazão seria superior a 430 m³/s.

Foi realizada a análise de tendências em relação ao transporte de sedimentos. Embora inicialmente tivéssemos muitas estações disponíveis mas após analisar a integridade dos dados, foram obtidas apenas 6 estações com quantidades relevantes. Sendo 3 no rio principal e outras 3 em sub-bacias como demonstrado na Figura 13. Nestas 6 estações foram observadas tendências de crescimento.

Figura 13 - Distribuição e representação das tendências sedimentométricas na Bacia do Rio Paraíba do Sul



Fonte: Elaborado pelos autores.

As tendências positivas demonstram o crescimento do sedimento transportado. Esta produção de sedimento pode ser em decorrência de áreas mais declivosas e com uso do solo associado a pastagens, por exemplo.

As estações Pindamonhangaba, Anta e Campos foram analisadas de maneira independente no ano hidrológico 2017-2018. Essa análise ocorreu para fazer um comparativo

na quantidade de sedimento em cada uma das estações do rio principal, tendo o ano hidrológico 2017-2018, por ser o único ano da série histórica que apresentava medições em período similar para as três estações.

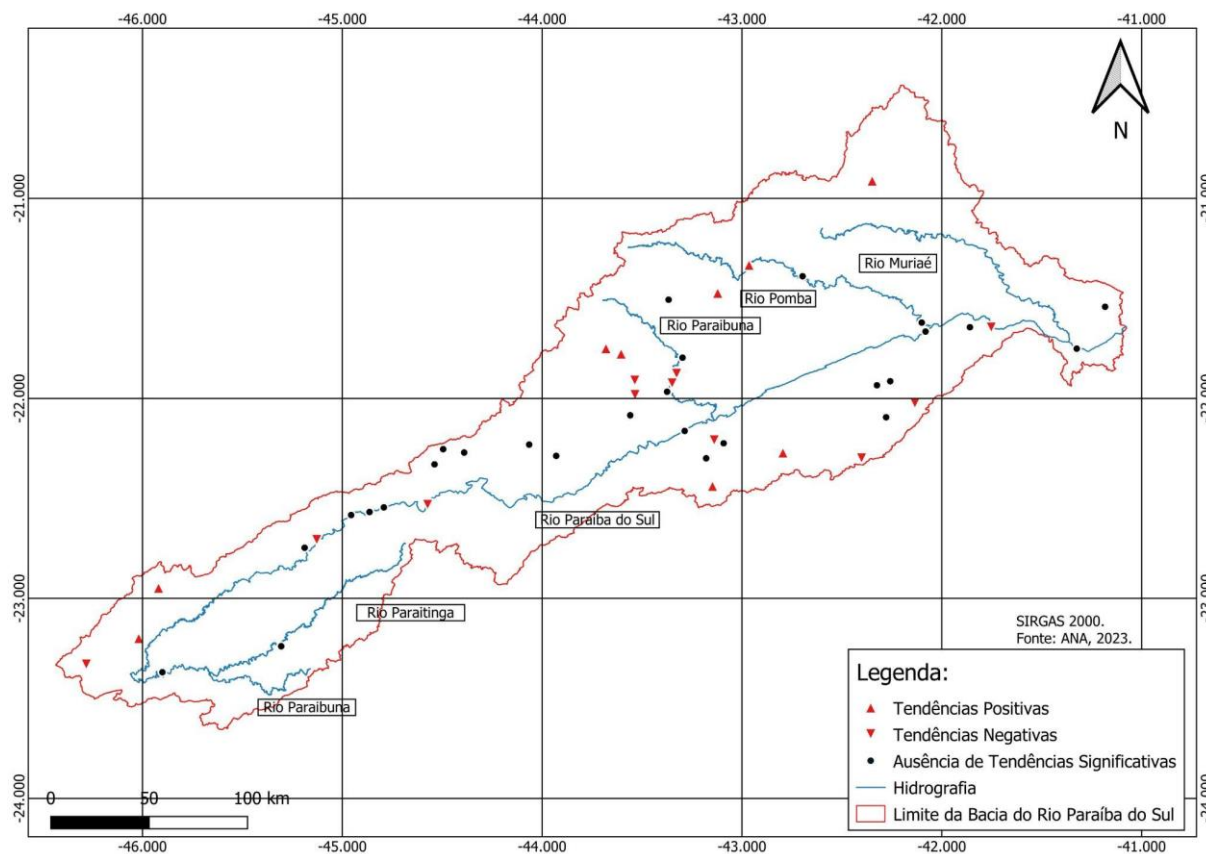
A partir dos dados de concentração de sedimento e as vazões foi possível construir o cenário de quantas toneladas de sedimento foram produzidas no período. Deste modo obteve-se como resultado, 9 toneladas/ano em Pindamonhangaba, 41 toneladas/ano Anta e 325 toneladas/ano em Campos. O aumento da quantidade de sedimento ao longo da bacia é natural, pois são bacias incrementais, ou seja, as sub-bacias a jusante sofrem influência das sub-bacias a montante.

Embora Jordão e Vinzon (2017), em seu estudo descrevem que a transposição retira aproximadamente 51 toneladas de sedimento por ano da bacia do Paraíba do Sul, isso baseando-se no ano hidrológico de 2015-2016. A quantidade retirada não demonstra ter grande influência na quantidade observada na estação de Campos.

Na análise da concentração foi observado na estação Pindamonhangaba concentração de 3,6 mg/l, na estação Anta 5 mg/l e na estação de Campos a concentração foi superior a 12 mg/l. No geral ao longo dos rios são observadas pequenas variações de concentração de sedimento, sobretudo em rios com grande regularidade de vazão. O comportamento observado neste estudo pode ser um indicativo da existência de processos erosivos que provocam o aumento de concentração.

Para a análise das tendências na intensidade de precipitação das chuvas acumuladas em 24h, foram analisadas 47 estações (Figura 13). Observa-se que 11 estações com tendências negativas, 9 positivas e 27 estações com ausência de tendência significativa.

Figura 14 - Distribuição e representação das tendências de intensidade da Chuva na Bacia do Rio Paraíba do Sul

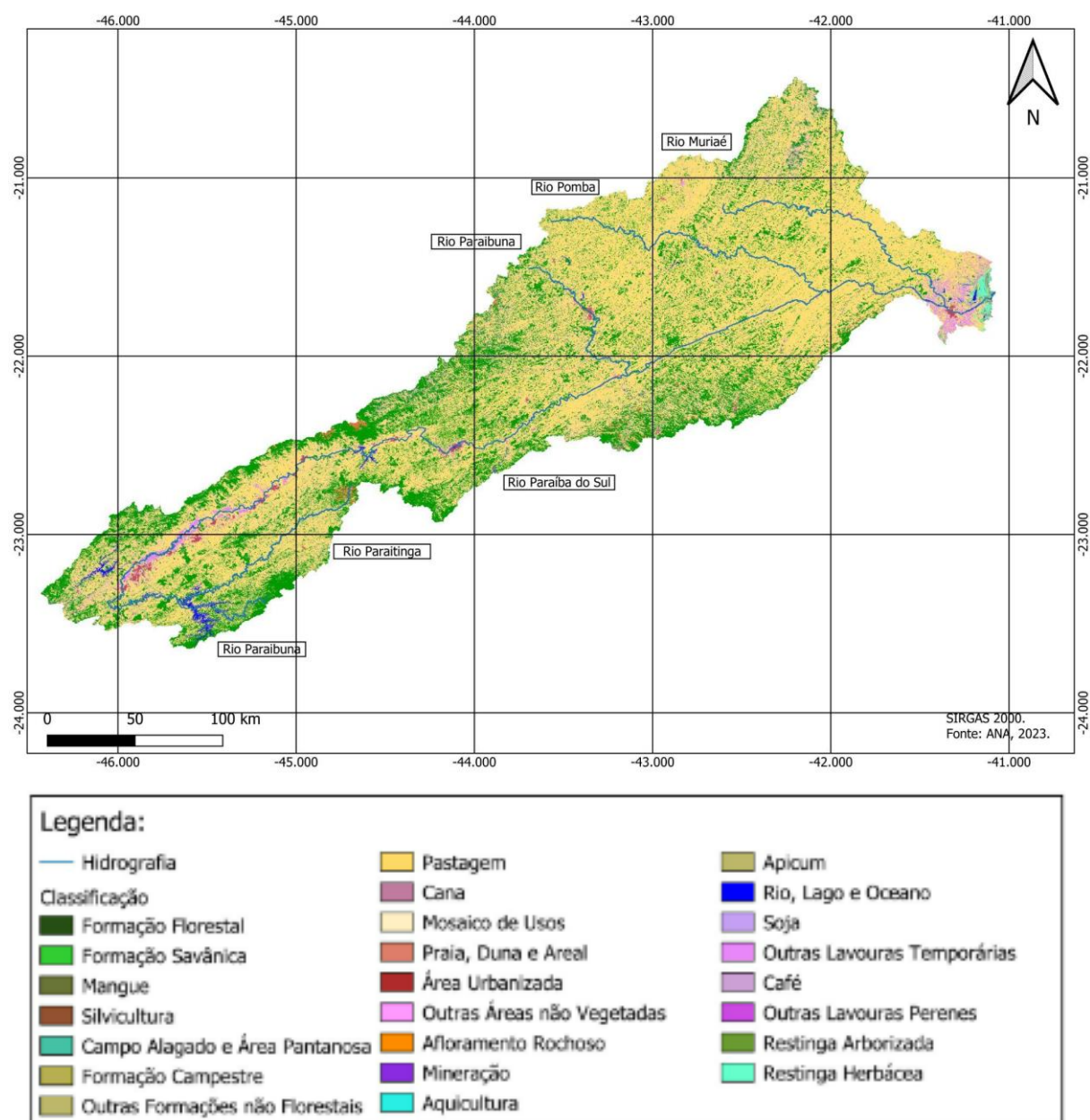


Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando de modo geral as tendências sedimentométricas apresentam tendência positiva, assim como a maioria das fluviométricas. Mostrando que a intensidade pode ser um fator que impacte nessas duas variáveis. Pois chuvas mais intensas produzem mais sedimento e apresentam menor taxa de infiltração, gerando maior escoamento superficial.

Os resultados apresentados fazem necessária a investigação das mudanças de uso do solo na bacia. Resultando na análise comparativa do ano de 1985 e do ano de 2021. Para identificar quais classes cobriam maior área na bacia, fez-se esta análise e constatou-se que, em 1985 a área florestal compunham 25,01% do território e outros 52,95% eram ocupados por pastagem como demonstrado na Figura 15.

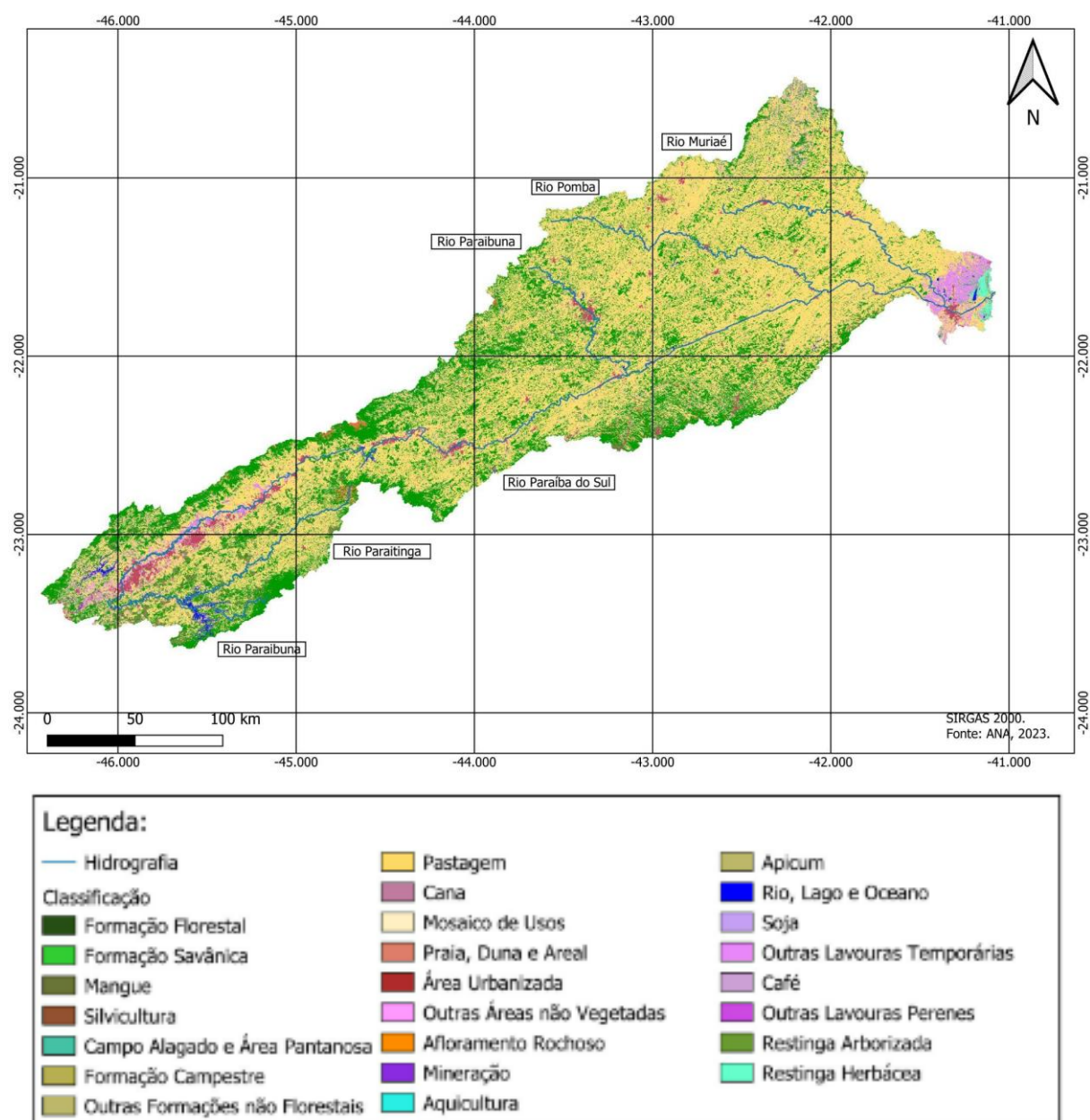
Figura 15 - Uso do Solo na Bacia do Rio Paraíba do Sul no ano de 1985



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na análise do ano de 2021 constatou-se que 27,86% área são de formação florestal, 49,94% de pastagem e 14,02% definidos como mosaico de usos, que são usos múltiplos ainda não categorizados mas relacionados a agropecuária, como observado na Figura 16.

Figura 16 - Uso do Solo na Bacia do Rio Paraíba do Sul no ano de 2021



Fonte: Elaborado pelos autores.

Comparando as mudanças nos anos analisados e dividindo em 5 grandes grupos que são Floresta (formação florestal, savânica, mangue e restinga arborizada), Formação Natural não Florestal (campo alagado e área pantanosa, formação campestre, apicum, afloramento rochoso, restinga herbácea e outras áreas não vegetadas), agropecuária (pastagem, agricultura, silvicultura e mosaico de usos), área não vegetada (praia, duna e areial, área urbanizada, mineração e outras áreas não vegetadas) e corpo d'água (rio, lago ou oceano e aquicultura).

O Quadro 2 apresenta as mudanças observadas nessas classes, cujos os sinais positivos demonstram aumento e os sinais negativos a diminuição da classe estabelecida.

Quadro 2 - Mudanças do Uso do Solo

Classes	Comparação Uso do Solo 1985-2021 (%)
Floresta	+ 10,43
Formação Natural Não Florestal	+0,10
Agropecuária	- 5,82
Área Não Vegetada	+ 55,90
Corpo D'Água	- 11,81

Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante ressaltar que as porcentagens observadas na Tabela 3 são comparativas entre o uso da classe em 1985 e em 2021. Áreas destinadas à agropecuária que tiveram uma pequena diminuição percentual, na verdade representam uma grande área em quilômetro quadrados. Por outro lado as áreas não vegetadas que apresentam grande percentual de mudança, representam uma pequena área em quilômetros quadrados. Demonstrando as porcentagens não são proporcionais e possíveis de serem comparadas diretamente.

Essas mudanças podem ser observadas na comparação entre 1985 e 2021. Houve aumento da área florestal que ocupava 25% e passou a ocupar 27,9%. Diminuição da área destinada à agropecuária que era de 71,9% e atualmente é de 68%. A área não vegetada também apresentou crescimento de 0,7% para 1,9%.

O aumento da área florestal e diminuição da área agropecuária podem estar relacionadas ao aumento da área de formação savânica. Já o aumento da área não vegetada, pode estar associado à expansão urbana. E a mineração que teve crescimento de quase 100% em relação ao ano de 1985.

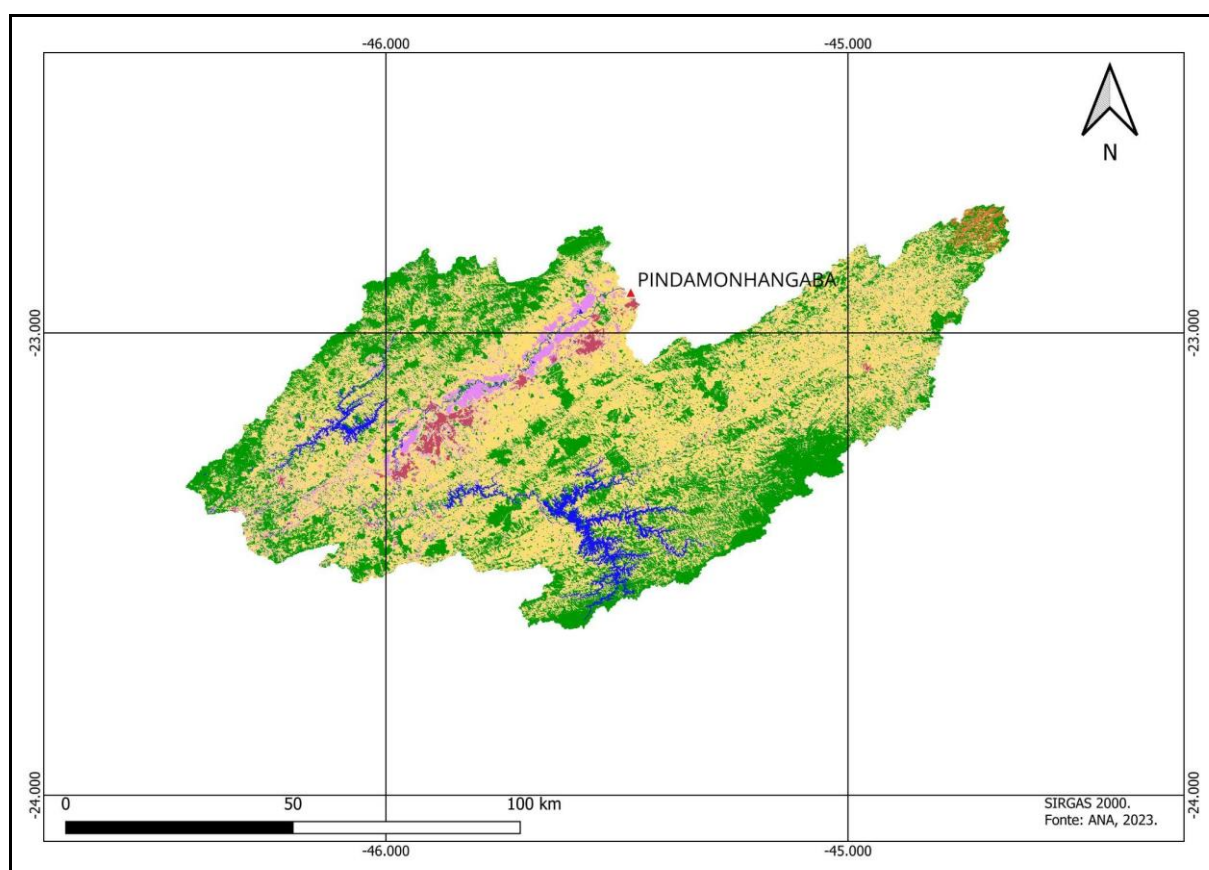
Além dessas informações é fundamental compreender as transições de uma forma mais ampla, para além das classes. As informações disponíveis no Projeto MapBiomias, demonstram que da área total da bacia, 25% sofreu algum tipo de mudança de classe comparando 1985 e 2021.

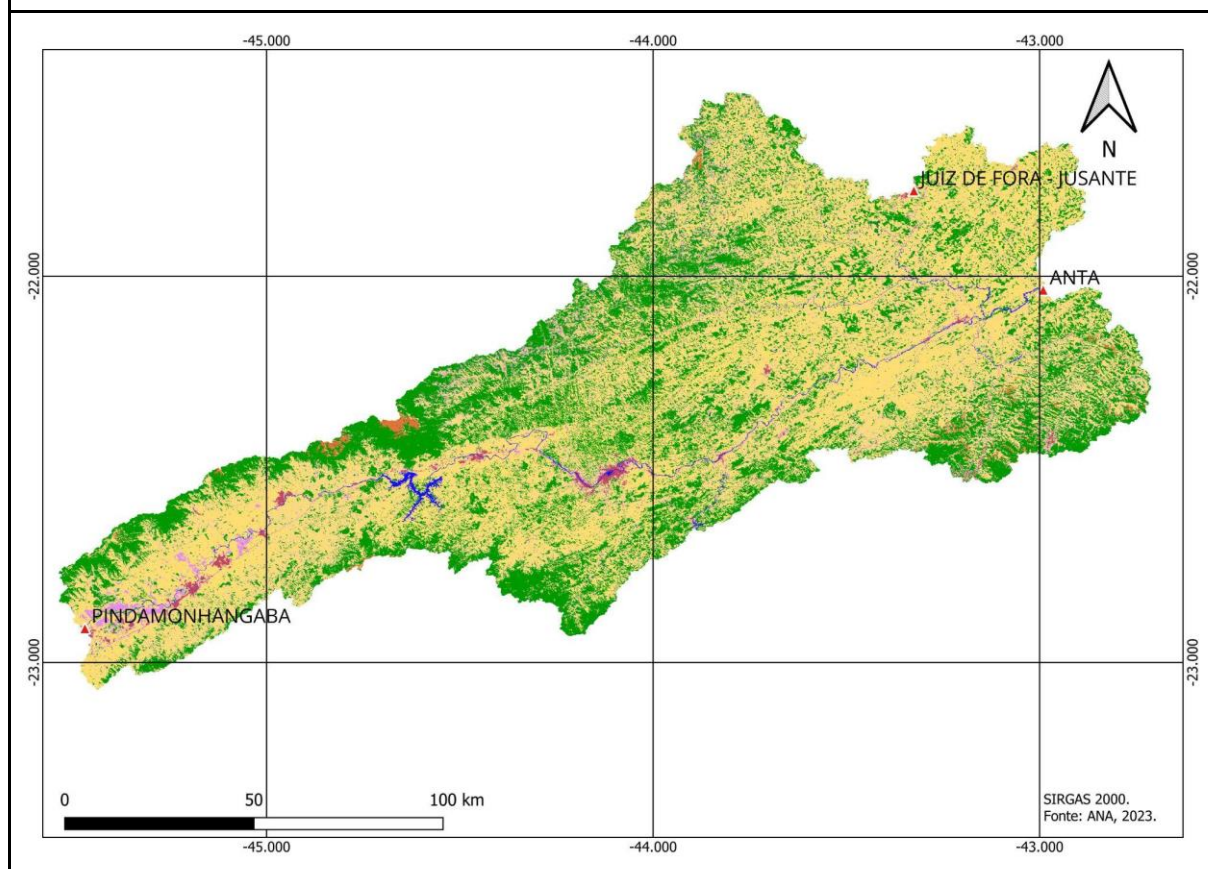
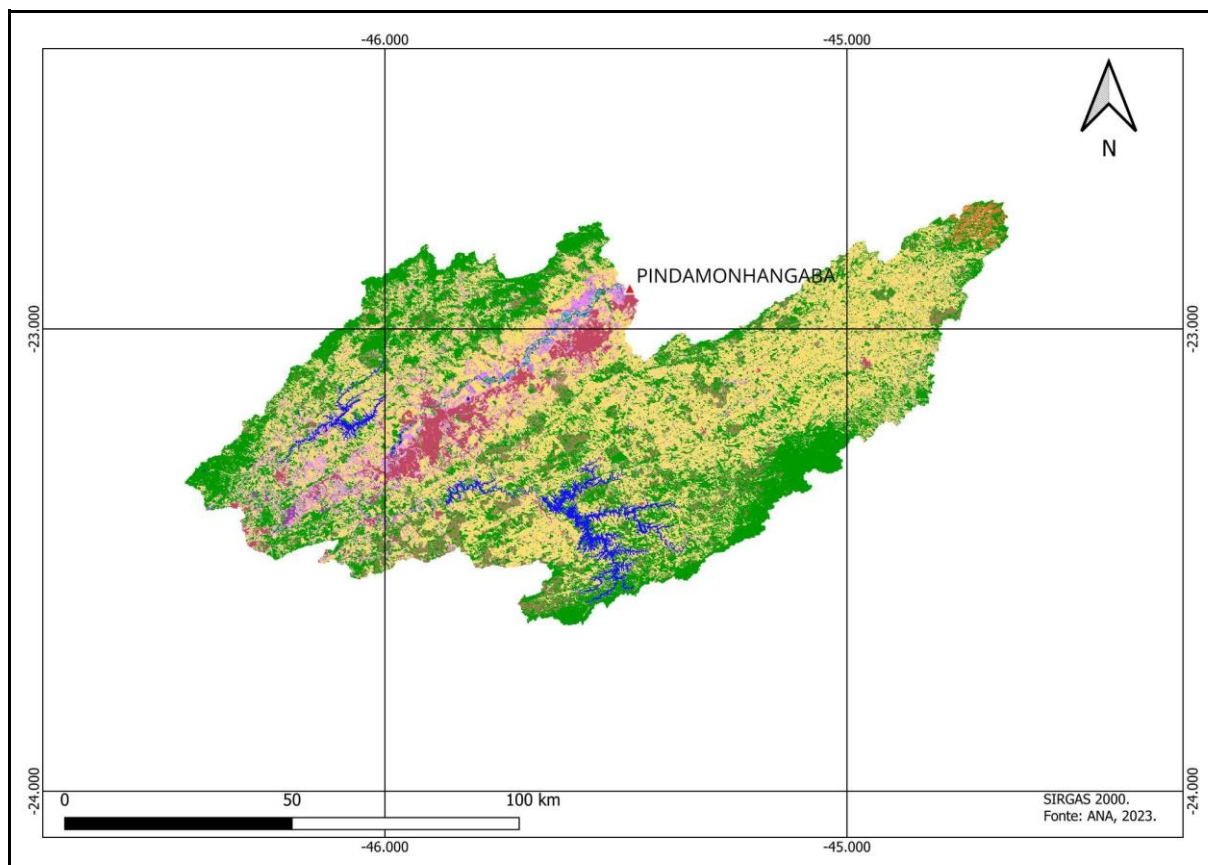
Observando as estações sedimentométricas, em aspectos como quantidade de estações

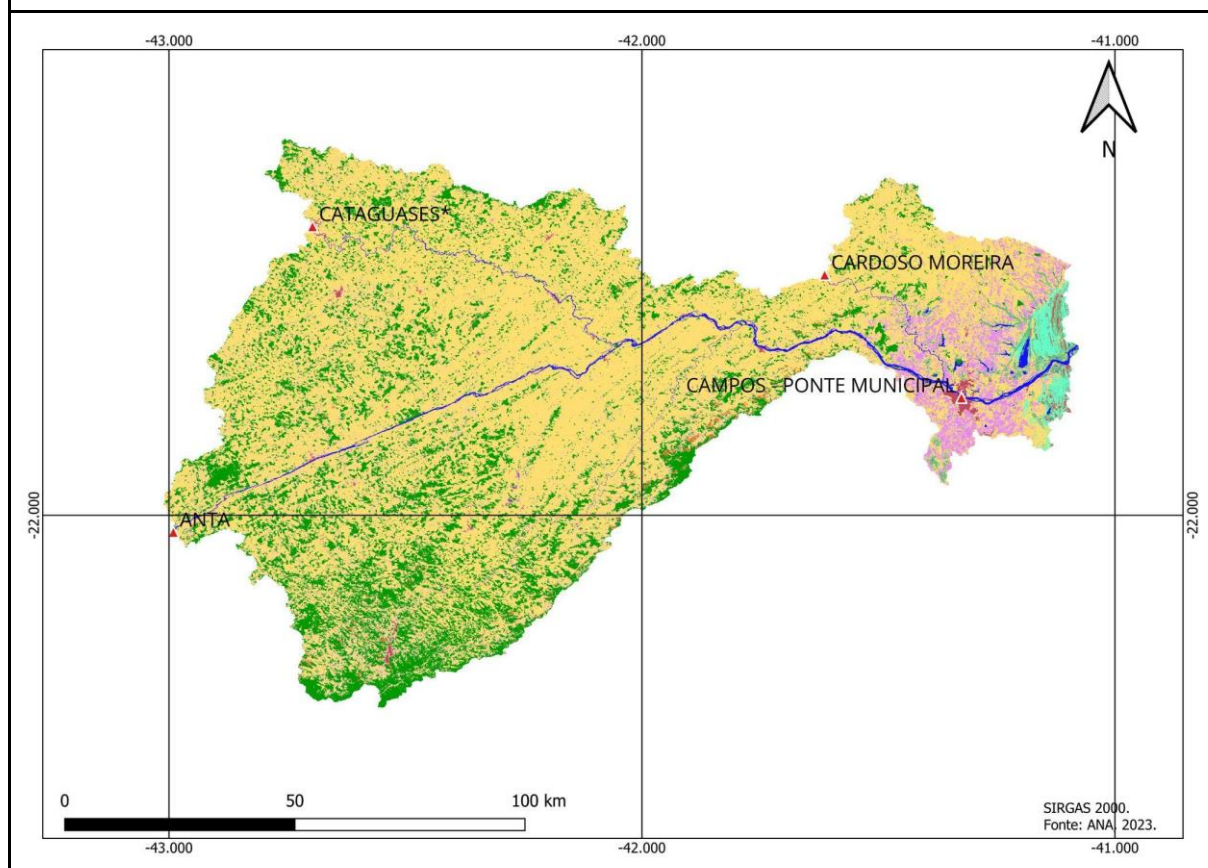
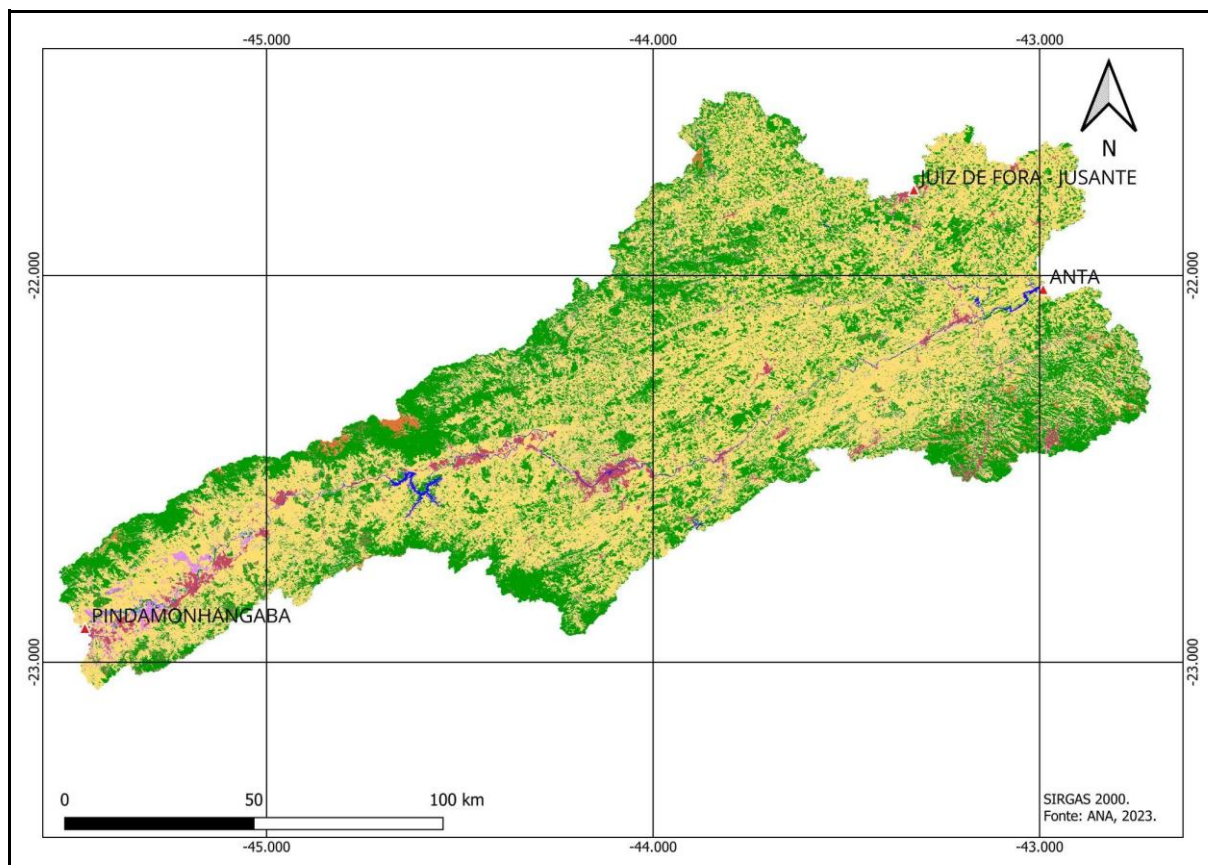
e distribuição, foi considerada a divisão em sub-bacias, tendo como exutório cada estação. E tendo como contribuinte no aporte de sedimento as estações a montante do exutório. Essa divisão teve por objetivo observar características, contribuições e incrementos.

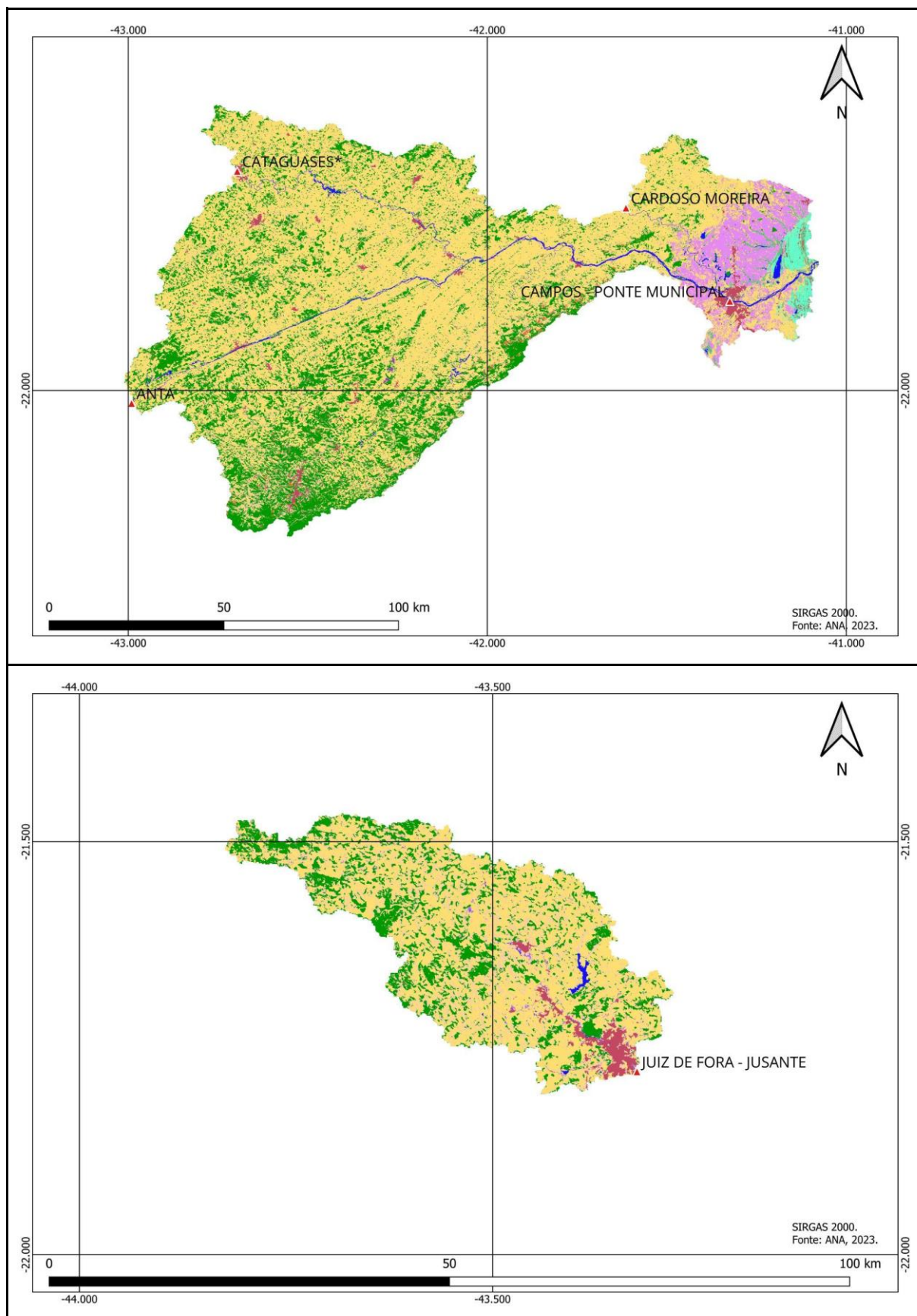
No Rio Paraíba do Sul estão as sub-bacias Pindamonhangaba, Anta e Campos. As estações de afluentes são Juiz de Fora (Rio Paraibuna), Cataguases (Rio Pomba) e Cardoso Moreira (Rio Muriaé). Na Figura 17 foram comparadas as mudanças de uso em cada uma dessas sub-bacias.

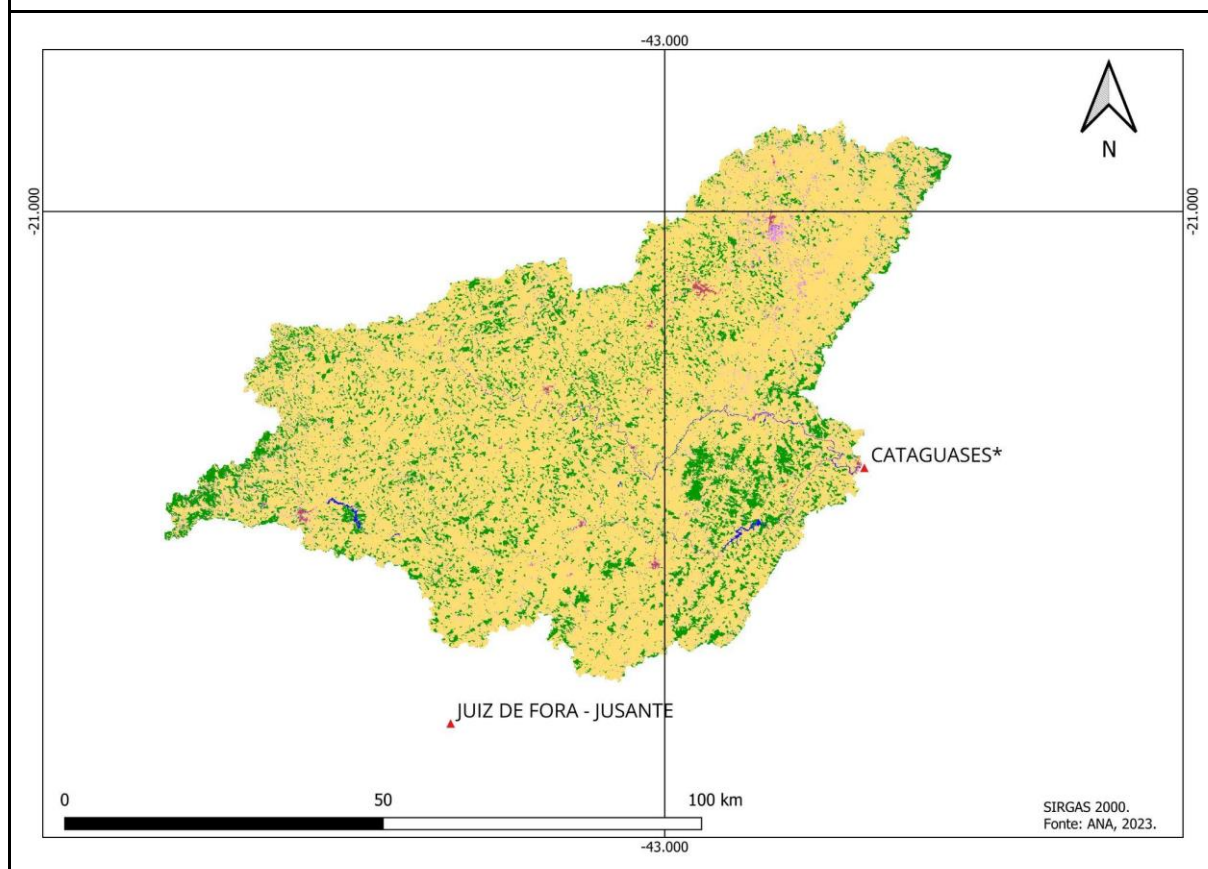
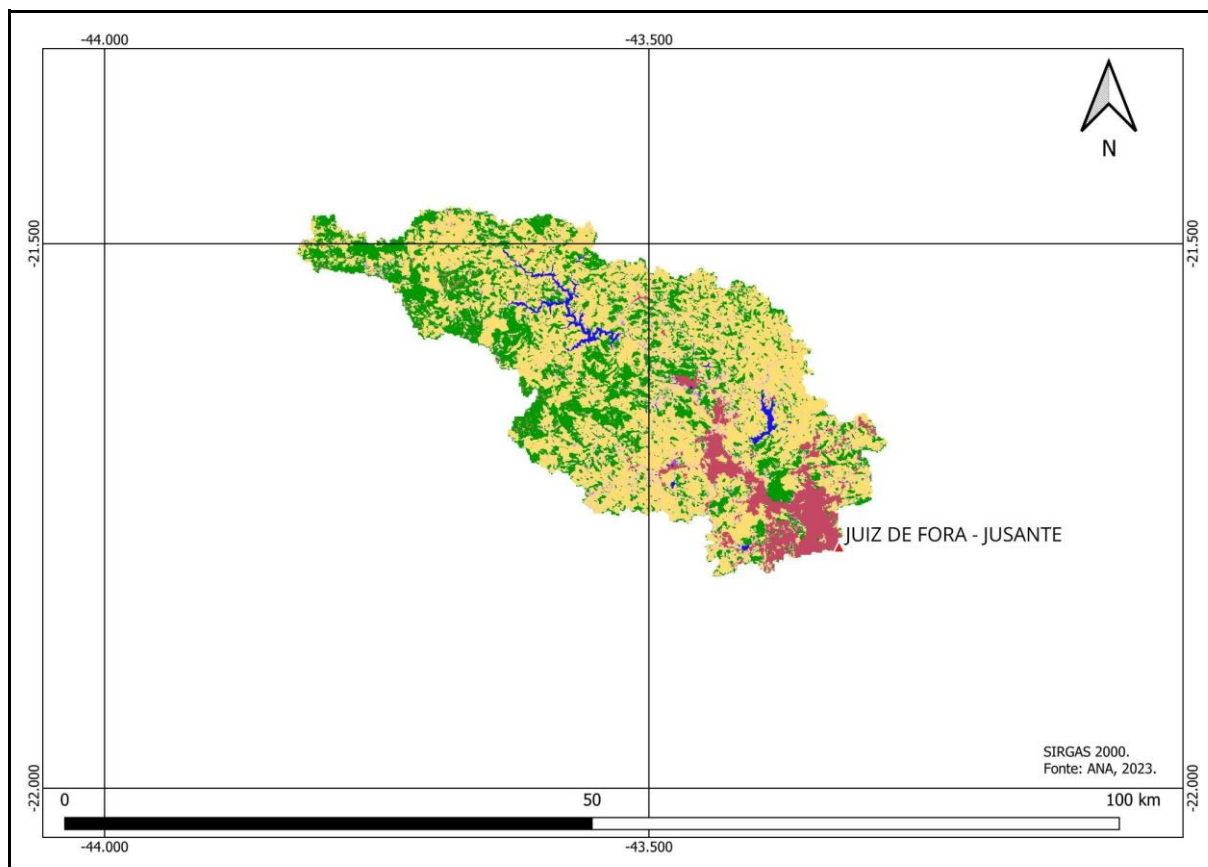
Figura 17 - Uso do solo nas sub-bacias geradas a partir das estações sedimentométricas

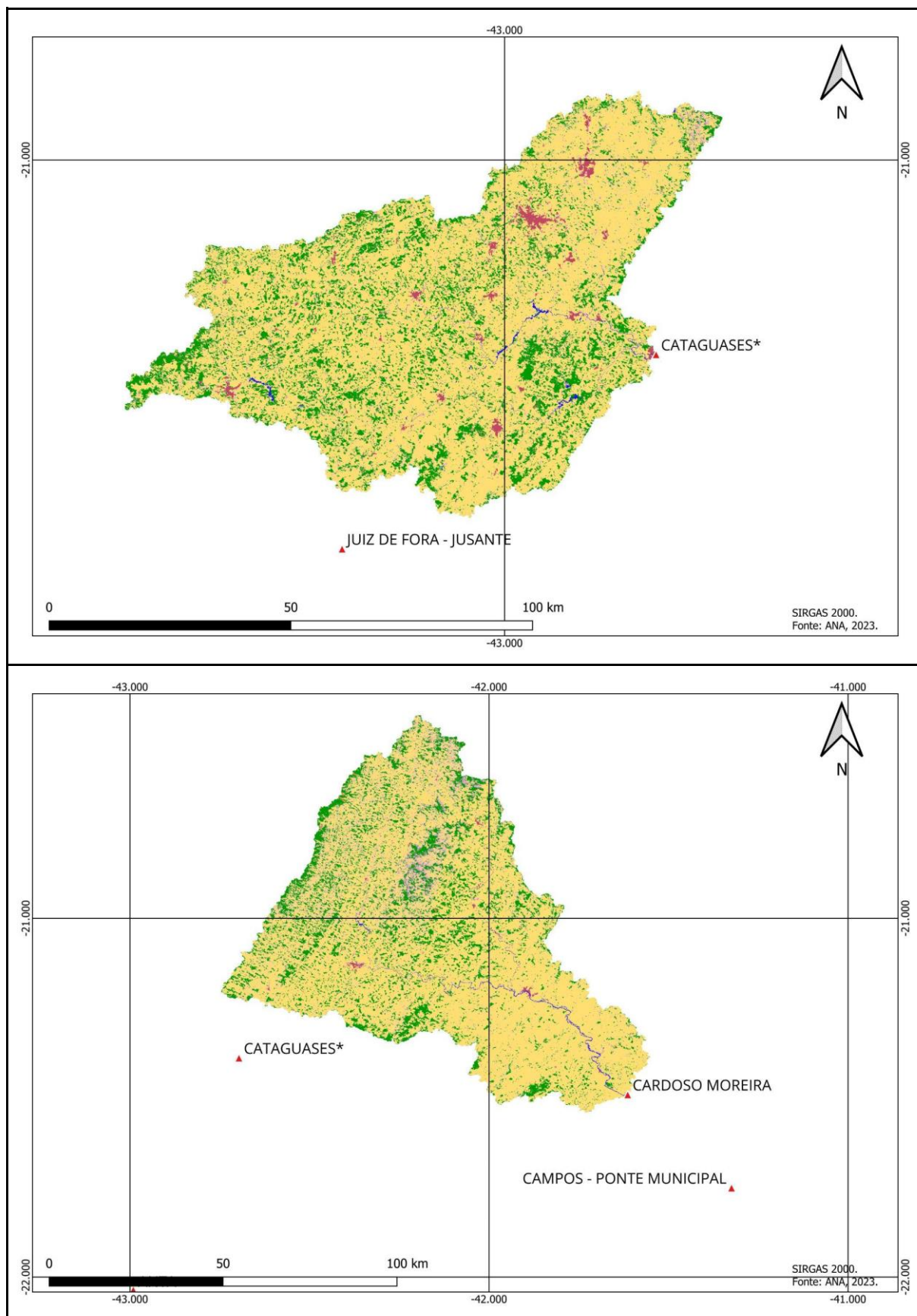


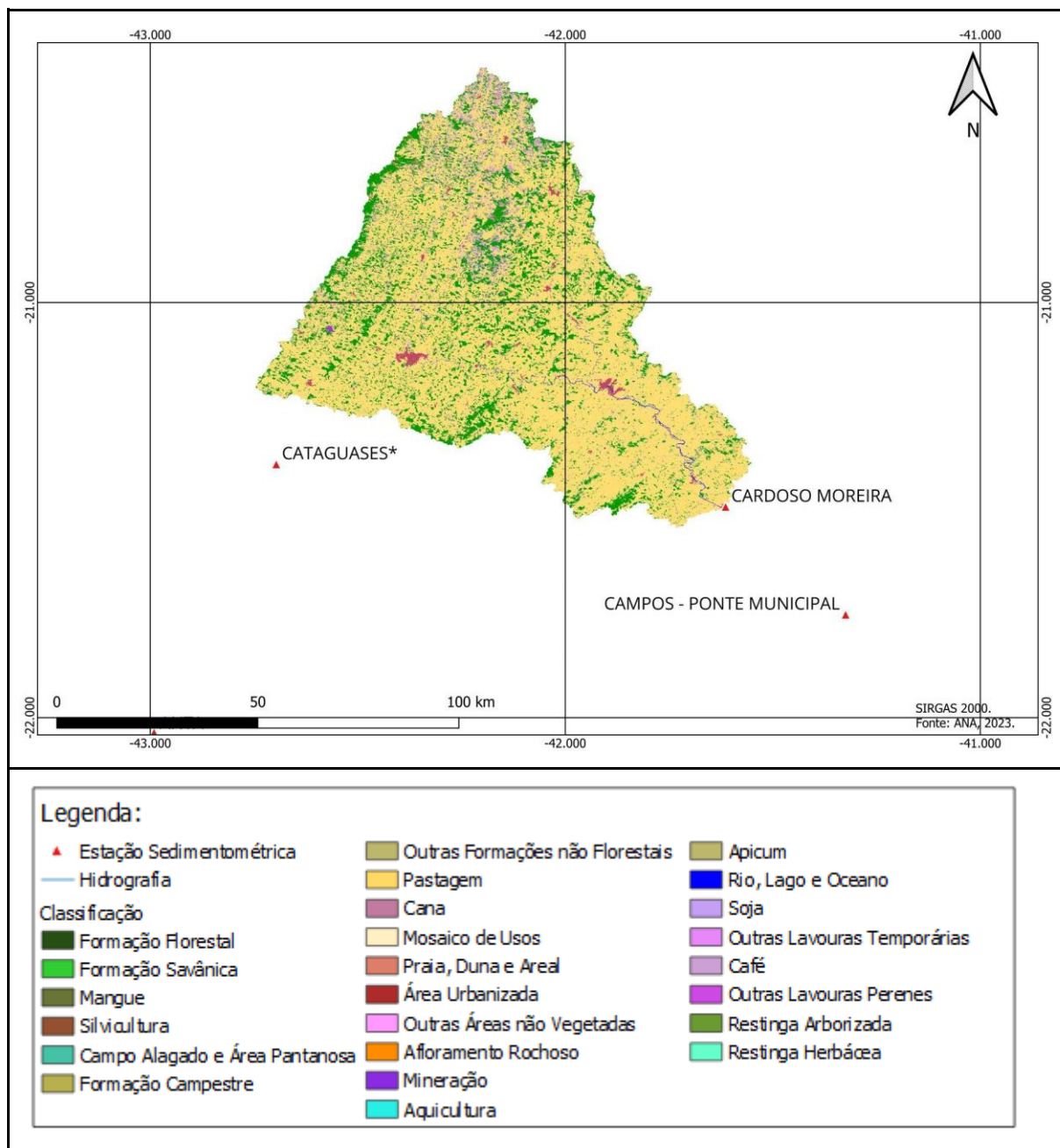












Fonte: Elaborado pelos autores.

A sub-bacia a montante da estação Pindamonhangaba está localizada em uma área com geomorfologia de formas agradacionais atuais e subatuais interioranas, clima temperado inverno seco e verão quente e solos do tipo latossolos. O relevo e tipo de solo presentes nesta sub-bacia podem ser fatores de produção de sedimentos.

No comparativo entre o ano de 1985 e o ano de 2021, a sub-bacia apresentou aumento de 58,95% na classe relacionada a área não vegetada com grande influência da urbanização e mineração.

Na sub-bacia a montante da estação Anta, característica geomorfológica a depressão do

Rio Paraíba do Sul, clima temperado inverno seco e verão quente e solos argissolos. O que indica ser uma área de pouca produção de sedimento e grande deposição. Observou-se a expansão da área não vegetada em 52,85% em relação ao ano de 1985, também em decorrência da urbanização e mineração.

A sub-bacia a montante da estação Campos, caracteriza-se pela geomorfologia de planícies deltaicas, estuarinas e praias, com clima tropical de savana e solos neossolos. Esta sub-bacia apresenta expansão da área não vegetada. Sendo uma sub-bacia com características que indicam deposição de sedimento.

Um ponto chama atenção nesta sub-bacia, enquanto nas outras sub-bacias do rio principal esse aumento esteve relacionado a urbanização e mineração, aqui observa-se a expansão de praias, dunas e areais. Podendo ter relação com o aporte de sedimento observado através das tendências sedimentométricas.

A sub-bacia a montante da estação de Juiz de Fora, localizada na geomorfologia dos planaltos do leste de Minas, possui clima temperado, inverno seco e verão fresco e solos definidos como latossolos.

Nesta sub-bacia a classe descrita como área não vegetada apresentou aumento de 53,88% em relação ao ano de 1985. Decorrente da expansão urbana e de mineração, outra classe que destacou-se foi a formação natural não florestal com acréscimo de 85,35% que está diretamente ligado aos afloramentos rochosos. A junção de fatores constituintes da bacia como relevo e tipo de solo, somada aos usos, são fatores que podem tornar essa bacia uma potencial produtora de sedimento.

Na sub-bacia a montante da estação Cataguases, com geomorfologia de depressões do Rio Paraíba do Sul, possui clima tropical de savana e solos latossolos. As mudanças observadas nesta sub-bacia estão associadas à expansão da área não vegetada com 68,23%.

A última sub-bacia analisada foi Cardoso Moreira, geomorfologia de depressões do Rio Paraíba do Sul, que possui clima tropical de savana e formação pedológica de argissolos. A exemplo das outras sub-bacias, Cardoso Moreira também apresentou expansão da área não vegetada em 67,52%.

Essas duas últimas sub-bacias, apresentam relevo e tipo de uso do solo, que as tornam suscetíveis a processos erosivos. Com grandes áreas associadas à pastagem, o que pode responder ao aumento observado na concentração de sedimento no ano hidrológico 2017-2018, tendo em vista que essas estações estão a montante da estação de Campos.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o fator relacionado a quantidade de chuvas tem pouca influência nos comportamentos observados. O aumento de vazão pode estar associado ao uso do solo, sobretudo urbanização e manutenção de grandes áreas de pastagem. A intensidade em área de elevada declividade e alta suscetibilidade de erosão é um fator preponderante para a produção de sedimentos. A expansão da mineração é um fator produtor de sedimento. As tendências sedimentométricas sofrem clara influência das vazões, da intensidade e do uso do solo.

A análise de dados sedimentológicos do ano hidrológico de 2017-2018, demonstra o crescimento na concentração de sedimento, trazendo mais um indicativo que há um processo erosivo na bacia.

A partir dos dados obtidos neste estudo e de estudos realizados na região da foz que demonstram aumento dos impactos negativos vistos, pode-se afirmar que o aporte de sedimento do rio não tem influência nestes impactos. Uma vez que tem-se o aumento de sedimento nesta foz deltaica o comportamento a ser observado deveria ser de diminuição dos impactos negativos e não um aumento.

Este estudo traz um novo olhar sobre os impactos negativos observados na foz do Rio Paraíba do Sul. Apresentando grande importância para a gestão e conservação da bacia. Pois demonstra a influência do uso do solo nas águas do rio, que no futuro pode gerar impactos em sua disponibilidade qualitativa e quantitativa.

Algumas necessidades e fragilidades ficaram claras durante a construção da presente pesquisa, a falta de dados históricos contínuos e pregressos a principal transposição e aos grandes represamentos existentes. E a ausência de estações com medições sedimentométricas.

Para estudos futuros recomenda-se a possibilidade da análise amostral das águas do rio Paraíba do Sul, com o objetivo de compreender questões relacionadas à granulometria do sedimento e composição química. Análise de mudanças nas dinâmicas oceânicas que justifiquem os impactos observados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução CNRH nº 32 de 15/10/2003. Brasília: ANA, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. – Brasília: ANA, 2015. Acessado: Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Boletim de monitoramento dos reservatórios do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul: abril de 2022. Brasília: ANA, 2022.

ANDRADE, M. P.; BANDEIRA, C.; RIBEIRO, M. Análise de tendências no comportamento da chuva na bacia do rio Paraíba do Sul. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/C0001.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

ARAÚJO, F. G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do Sul. Revista Brasileira de Biologia, v. 58, n. 4, p. 547–558, nov. 1998.

BATISTA, F. Moradora derruba casa na costa de Atafona, onde tudo é engolido pelo mar. Disponível em: <https://tab.uol.com.br/noticias/redacao/2022/08/28/moradora-de-atafona-rj-manda-derrubar-a-casa-engolida-pelo-mar.html>. Acesso em: 16 mar. 2024.

BERNAL, G.; VELÁQUEZ, A; VARGAS, I; AGUDELO, A. C; ANDRADE, C. A; DOMÍNGUEZ, J. G; RICAURTE, C; MAYO, G. VARIABILIDAD DE LOS APORTES A LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DURANTE UN CICLO ANUAL EN LOS BANCOS DE SALMEDINA. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, v. 35, n. 1, p. 59–75, 2024.

BRASILIENSE, C. S., DEREZYNKI, C. P., SATYAMURTY, P. CHOU, S. C., CALADO, R. N. Climatologias da Temperatura do Ar e da Precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Região Sudeste do Brasil. 2020. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 43 - 1 / 2020 p. 355-365.

BRASIL. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-32-de-15-de-Outubro-de-2003-CNRH.pdf>.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa, v. 15, n. 1, p. 4, 21 jan. 2016.

CEIVAP. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Diagnóstico dos Recursos Hídricos – Relatório Final. 2021.

CHU, Z. The dramatic changes and anthropogenic causes of erosion and deposition in the lower Yellow (Huanghe) River since 1952. *Geomorphology*, v. 216, p. 171–179, jul. 2014.

DEMANBORO, A. C. Gestão ambiental e sustentabilidade na macrometrópole paulista - Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Sociedade & Natureza*, v. 27, n. 3, p. 515–529, dez. 2015.

Mapa de solos do Brasil. Disponível em:

<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104>. Acesso em: 17 de jun. 2023.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, p. 43–68, ago. 2015.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18–27, dez. 2017.

GRIPBSUL. 2022. Disponível em: <<http://gripbsul.ana.gov.br/Default.html>>.

GUO, L.; SU, N.; ZHU, C.; ELE, Q. Como as descargas fluviais e as cargas de sedimentos mudaram na bacia do rio Changjiang a jusante da Barragem de Três Gargantas? *Jornal de Hidrologia*, v. 560, maio de 2018, p.259-274.

HENNING, T. B.; MOTA, A. DE A. Avaliação do potencial de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica do oeste catatinense. *GEOGRAFIA*, v. 43, n. 2, p. 255–277, 4 dez. 2018.

Special Report on Climate Change and Land — IPCC site. Disponível em:

<<https://www.ipcc.ch/srccl>>. Acesso em: 30 de maio de 2023.

LÓPEZ, J. C. R; ROYERO, J. C. O; DÍAZ, L. O; ORTIZ, S. R. O; Transporte de sedimentos em suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fis. Nat.* Vol. 39 nº 139 Bogotá dez. 2015.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise Hídrica em São Paulo em 2014: Seca e Desmatamento. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, v. 19, n. 3, p. 485, 6 dez. 2015.

MARENGO, J.; ALVES, L. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/04.08.12.39/doc/marengo_tendencias.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

Plataforma - MapBiomass Brasil. Disponível em: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>.

MOLISANI, M., KJERFVE, B., SILVA, A., LACERDA, L. D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 331, n. 3, pp. 425- 433. 2006.

MORELLI, A. F; CAVALHEIRO, F; ALVES, M; FANTIN, M; Representação espacial da cobertura vegetal natural original do município de São José dos Campos (SP). Revista Geoambiente On-line, n.1| jul/dez 2003.

NEVES, A. de O; VILANOVA, M. R. N. Caracterização da seca histórica da década de 2010 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. Eng Sanit Ambient | v.26 n.2 | mar/abr 2021.

NEVES, M. P; SANTOS, F. M; DI LOLLO, J.A. (2021). Processos erosivos e produção de sedimentos: suas relações com a cobertura vegetal na Bacia do Ribeirão do Roque. Revista de Gestão de Água da América Latina, 18, e17. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e17>

OLIVEIRA, A. M; REIS, A. S; MATOS, A. E; NUNES, A. G; HERNANDEZ, A. O; SOUZA, C. S; SEGUNDO, G. H. C; VITAL, H; GONÇALVES, M. V. C; JÚNIOR, N. A. F; OLIVEIRA, O. C; JÚNIOR, P. O. M; JÚNIOR, R. C. S; TABASA, W. F; HERNANDEZ, Y. O. Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente – AL/SE. 2003.

OLIVEIRA, A. V. DE; SERRANO, R. O. P; MESQUITA, A. A; MOREIRA, J. G. V. Temporal Trend and Estimation of the Hydrological Risk of Maximum Rainfall and Flow Extremes in the City of Rio Branco, Acre, Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 4, p. 749–758, dez. 2021.

OLIVEIRA, D. M. D; CARVALHO, V. S. B.; DA SILVA, B. C.; REBOITA, M. S.; de CAMPOS, B. Hydrological and Precipitation Extremes and Trends over the Paraíba do Sul River Basin, Brazil. Climate, v. 11, n. 7, p. 138, 1 jul. 2023.

OLIVEIRA, E. C. Mudanças na sedimentação do delta do Rio Paraíba do Sul nos últimos 40 anos: resultados do manejo excessivo. O Homem e as Zonas Costeiras. Cap. X, 2015, p.174 – 178.

Portal HidroWeb. 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>.

RIBEIRO, G.; BARTEL, B. F.; OLIVEIRA, C. S. Mapeamento digital da área urbana na frente erosiva em Atafona e progradacional em Grussaí, São João da Barra (RJ): impactos urbanos e ambientais. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos06/413_ModeloSeget_Gilberto.pdf>.

SANTANA, G. R. DE A.; SANTOS, E. B.; SILVA, M. G. A. J. DA. Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Anuário do Instituto de Geociências, v. 43, n. 4, 2020.