



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**ISABELLA SIQUEIRA VIEIRA**

**RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO, USO E COBERTURA DO SOLO NAS  
VAZÕES NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
MARÇO – 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**ISABELLA SIQUEIRA VIEIRA**

**RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO, USO E COBERTURA DO SOLO NAS  
VAZÕES NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
MARÇO – 2023

**PRECIPITAÇÃO E USO E COBERTURA DA TERRA INFLUENCIAM NAS  
VAZÕES NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

**ISABELLA SIQUEIRA VIEIRA**

APROVADA EM: 01/03/2023

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. MARCEL CARVALHO ABREU – UFRRJ  
Orientador

---

CLAUDIA MOSTER – UFRRJ  
Membro

---

MICAEL DE SOUZA FRAGA – UFRRJ  
Membro

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial ao meu pai Roberto Vieira, por sempre ter confiado e acreditado em minhas decisões e formado quem sou hoje, a minha mãe Sandra Siqueira, por sempre estar comigo, me apoiando em todas situações, transmitindo seus conselhos e seu amor. Aos meus irmãos Rafael, Roberta, Sabrina e Henrique por me sempre me incentivarem a seguir em frente com os estudos e por trazerem alegria a minha vida.

Agradeço também a Deus, por toda força e por todos presentes enviados durante os anos de graduação, como meu companheiro Gabriel, e meus gatos Bart e Margot. Agradeço por todo apoio dos meus amigos Renata e Eduardo, que sempre me deram forças para seguir em frente.

Gostaria de destacar o papel fundamental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em minha vida, que possibilitou meu preparo para o momento presente, cada detalhe do processo acadêmico e pessoal dentro da Universidade foi necessário e sou grata por todas as etapas percorridas. Sou grata as minhas colegas do quarto 402 do Alojamento Feminino, por todo acolhimento e ensinamentos. Agradeço aos colegas de turma da Engenharia Florestal, pela rede de apoio que criamos e as amigas cultivadas com muito carinho e ternura ao longo desses anos.

Em especial, gostaria de agradecer ao professor Gustavo Bastos Lyra, que me apoiou em momentos difíceis e me abriu os olhos para novas possibilidades através da vivência proporcionada pela Iniciação Científica, essencial para minha construção na academia. Também gostaria de agradecer em especial ao professor Marcel Carvalho Abreu, por toda assistência, compreensão, amizade, e por todo conhecimento transmitido e a professora Claudia Moster, que através de suas aulas inspiradoras, me foi despertado um interesse especial pela área dos recursos hídricos.

Agradeço também à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a todos os professores e funcionários da universidade que fizeram parte da minha jornada acadêmica, pois todos contribuíram substancialmente na minha formação.

## **BIOGRAFIA**

Isabella Siqueira Vieira é natural de Campinas, São Paulo. É estudante de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO

As vazões representam em grande parte, a disponibilidade hídrica de uma região e são influenciadas por diversos fatores, entre eles a precipitação e o uso e ocupação do solo. O objetivo deste trabalho foi relacionar as vazões máximas, médias e mínimas anuais à precipitação e ao uso e cobertura do solo na área de influência da estação 58380001, na Bacia do Paraíba do Sul, utilizando séries históricas anuais entre 1981 e 2021. Dados de vazões de duas estações fluviométricas foram analisadas, a estação 58380001 que determinou a área de estudo, e a estação 5830000, à montante da estação 58380001. Dados de precipitação foram obtidos para a área de estudo através do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos na plataforma MapBiomas. O procedimento estatístico adotado para verificar as relações entre as variáveis vazões, precipitação e classes de uso e ocupação do solo foram testes de tendência temporal e a análise de correlação. Para a análise de tendências temporais, foram utilizados o teste t de Student para o coeficiente angular da regressão entre a variável analisada e os anos de análise (1985-2021), o teste de Mann-Kendall e o teste de Pettitt. As significâncias das correlações de Pearson foram utilizadas para relacionar as variáveis. Foram encontradas tendências significativas nas vazões médias e mínimas na estação 58380001, enquanto a precipitação não apresentou tendências. Diversas classes de uso e ocupação do solo apresentaram tendências significativas, sendo as mais expressivas o aumento de áreas de silvicultura, mineração e área urbanizada, e a redução de áreas alagadas e pantanosas, e lagos, rios e mar, e outras áreas não vegetadas. As correlações significativas foram encontradas entre a vazão mínima e silvicultura (-0,29), vazão mínima e aquicultura (-0,26), vazão mínima e área urbanizada (-0,33) e vazão mínima e mineração (-0,33). Portanto, pode-se indicar a possibilidade de redução da disponibilidade hídrica na região de estudo devido aos padrões de modificação do uso e cobertura do solo ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Uso e cobertura do solo; Análise de Tendências; Mann-Kendall; Recursos Hídricos; Deflúvio.

## ABSTRACT

Streamflow essentially represents the water availability of a region and is influenced by several factors, including precipitation, land use, and land cover. The objective of this work was to relate the maximum, average, and minimum annual flows to precipitation and land use and land cover in the area of influence of station 58380001, in the Paraíba do Sul Basin, using annual historical series between 1981 and 2021. Flow data Two fluviometric stations were analyzed, station 58380001, which determined the study area, and station 5830000, upstream of station 58380001. Precipitation data were obtained for the study area using the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations product (CHIRPS). Land use and occupation data were obtained from the MapBiomias platform. The statistical procedure adopted to verify the relationships between the variables flows, precipitation, land use, and occupation classes were temporal trend tests and correlation analysis. For the analysis of temporal trends, the Student's t-test was used for the angular coefficient of the regression between the analyzed variable and the years of investigation (1985-2021), the Mann-Kendall test, and the Pettitt test. Pearson's correlation significances were used to relate the variables. Significant trends were found in mean and minimum flows at station 58380001, while precipitation showed no trends. Several classes of land use and occupation showed significant trends, the most notable being the increase in forestry, mining, and urbanized areas and the reduction in swampy and swampy areas, lakes, rivers and seas, and other non-vegetated areas. Significant correlations were found between minimum flow and forestry (-0.29), minimum flow and aquaculture (-0.26), minimum flow and the urbanized regions (-0.33), and minimum flow and mining (-0.33). Therefore, it can be indicated the possibility of reduced water availability in the study region due to patterns of change in land use and cover over time.

**Keywords:** Soil use and cover; Trend analysis; Mann-Kendall; Water resources; Streamflow.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>1</b> <b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2</b> <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1 Vazões de referência e disponibilidade hídrica .....	2
2.2 Fatores determinantes das vazões.....	3
2.3 Bacia do rio Paraíba do Sul.....	4
<b>3</b> <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	4
3.1 Local de estudo .....	4
3.3 Análises estatísticas .....	9
<b>4</b> <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	11
4.1 Estatísticas descritivas .....	11
4.2 Tendências e correlações entre vazões, precipitações e classes de uso e ocupação do solo ...	13
<b>5</b> <b>CONCLUSÃO</b> .....	19
<b>6</b> <b>REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	19



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações das estações fluviométricas utilizadas no estudo.....	8
Tabela 2. Classificação de seca de acordo com o SSI e SPI. ....	10
Tabela 3. Médias e desvios padrões das vazões máximas, médias e mínimas das Estações 58380001 e 58030000, bacia do Paraíba do Sul.....	11
Tabela 4. Médias mensais de longa duração das Estações 58380001 e 58030000, na área de estudo.....	11
Tabela 5. Número de ocorrências de eventos das classificações dos eventos de seca meteorológica pelo SPI na área de estudo e seca hidrológica pelo SSI nas estações 58380001 e 58030000. ....	12
Tabela 6. Análise das tendências das precipitações máximas ( $P_{max}$ ), médias ( $P_{med}$ ) e mínimas ( $P_{min}$ ) para a área de estudo e vazões máximas ( $Q_{max}$ ), médias ( $Q_{med}$ ) e mínimas ( $Q_7$ ) para as Estações 58380001 e 588380000. ....	14
Tabela 7. Análise das tendências das áreas das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.....	16
Tabela 8. Diferença na área das diferentes classes de uso e ocupação do solo entre 1985 e 2021, e a diferença percentual entre os anos na área de estudo.....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul no Brasil (a), modelo digital da área de estudo (b) e tipos climáticos de acordo com a classificação de Köppen na área de estudo (c). Fonte: Vieira (2023).....	6
Figura 2. Distribuição espacial da precipitação anual e do desvio padrão, em mm, na área de estudo.....	6
Figura 3. Distribuição sazonal da precipitação mensal máxima, média e mínima, em mm, na área de estudo. ....	7
Figura 4. Variação temporal dos índices SSI para as estações fluviométricas e SPI na área de estudo.....	12
Figura 5. Uso e Cobertura do Solo na área de influência da Estação 58380001 nos anos de 1985 e 2021. ....	18
Figura 5. Correlação entre as vazões máximas, médias e mínimas de 7 dias consecutivos e a precipitação, índices SPI e SSI e classes de uso e ocupação do solo na área de influência da estação 58380001. ....	18

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a disponibilidade de recursos hídricos vem sendo impactada pelas alterações no regime de precipitação, temperatura e evapotranspiração, resultado da crescente queima de combustíveis fósseis e desmatamento (STOCKER, 2013), com o agravante da conversão do uso e ocupação da terra (CECÍLIO et al., 2021; MFWANGO, AYENEW & MAHOO, 2022; ACHUGBU et al., 2022). A alteração nos regimes de chuvas, ocasionada pelas mudanças climáticas, somado às mudanças no uso e cobertura do solo ao longo do tempo (MEDIERO et al., 2015; KOUTROULIS et al., 2019; FERREIRA et al., 2021) provocam mudanças sistêmicas nos ecossistemas, prejudicando a produção de alimentos, abastecimento hídrico, infraestrutura, entre outras estruturas essenciais para sociedade (DDAMULIRA., 2016). Esse fator atrelado ao aumento da ocorrência dos eventos climáticos extremos ameaça a estabilidade socioeconômica global (FERREIRA et al., 2021).

Uma vez que os recursos hídricos influenciam significativamente o desenvolvimento socioeconômico de um país devido à sua diversidade de interações com as atividades humanas (CECÍLIO et al., 2021; MFWANGO, AYENEW & MAHOO, 2022), torna-se necessário compreender a dinâmica dos sistemas hidrológicos e os fatores que os influenciam. Modificações no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica influenciam em processos como a evapotranspiração, interceptação da água da chuva, infiltração da água no solo, e escoamento superficial. (TAKALA et al., 2016) influenciam quantitativamente (CECÍLIO et al., 2021) e qualitativamente (MELLO et al., 2018) nos recursos hídricos e, portanto, afetam a disponibilidade de água em uma região.

As vazões têm grande importância na caracterização e no potencial hídrico de uma bacia hidrográfica, e é influenciada pela casualidade espaço-temporal da precipitação, pelas características físicas das bacias hidrográficas e pelo uso e ocupação do solo (CIGIZOGLU et al., 2005; CECÍLIO et al., 2021; ACHUGBU et al., 2022). A quantificação das vazões é primordial para avaliação das tendências dos regimes de vazão ao longo do tempo, possibilitando análises e previsões que permitem a otimização do planejamento e gestão dos recursos hídricos (GONG et al., 2010; LIMA et al., 2019). Entretanto é interessante levar em conta a sazonalidade, entender como o ciclo do fluxo hídrico se desenvolve ao longo dos anos em uma região possibilita melhor eficiência no manejo do uso da água. (SERRANO, et al., 2020).

As séries históricas de dados provindos de um período observado extenso melhoram os parâmetros de diagnóstico, ajuste de modelos de predição e regionalização, resultando na melhora da acuracidade das estimativas das variáveis hídricas (GEBREMICAEL et al., 2017), modelos de previsão e regionalização de vazões (ABREU et al., 2022) e, na análise de tendências hidroclimáticas (RUHI, MESSENGER & OLDEN, 2018; CECÍLIO et al., 2021). A análise ou predição das variáveis hidrológicas com qualidade e acurácia é um dos requisitos necessários para alcançar o planejamento e gestão eficiente dos recursos hídricos. Apesar da importância, diversos autores reportam a dificuldade de obtenção de dados de qualidade (BABAEI; MOEINI & EHSANZADEH, 2019; MEHDIZADEH et al., 2019; CECÍLIO et al., 2021; ABREU et al., 2022) e da interpretação profunda dos processos hidrológicos em macro e meso escala. No entanto, com o advento e melhorias de técnicas estatísticas e de tecnologias de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, o diagnóstico temporal de bacias torna-se possível.

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul abrange os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, na região sudeste do Brasil, e drena uma das regiões de maior importância econômica do Brasil (PAIVA et al., 2020; BOURGUIGNON et al., 2021). Apresenta região privilegiada em termos de dados de vazão, embora ainda exista a necessidade de estudos voltados a relacionar fatores climáticos como a precipitação e de uso e ocupação do

solo às vazões máximas, importantes para planejamento de projetos agrícolas, médias, utilizadas para caracterização hidrológica e mínimas para planejamento da disponibilidade hídrica.

O objetivo deste trabalho é verificar as tendências temporais das vazões máximas, médias e mínimas, da precipitação e do uso e ocupação do solo na bacia do rio Paraíba do Sul, para o período entre 1985 a 2021 e correlacionar as vazões máximas, médias e mínimas à precipitação e uso e ocupação do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Vazões de referência e disponibilidade hídrica

A dinâmica dos processos que ocorrem nas bacias hidrográficas se dá pela interação de fenômenos climáticos (radiação, vento, precipitação, temperatura, umidade, evapotranspiração, etc.), por meio da troca de energia e matéria entre os sistemas e do meio físico (uso e ocupação do solo, forma da bacia, características do solo, relevo, etc), por influenciar nos processos de abstrações iniciais da precipitação, tempo de concentração e taxa de infiltração estável (RAO, 2020). Esses fatores influenciam nas vazões, parâmetro amplamente utilizado para verificar a disponibilidade hídrica da bacia e para estudos e projetos de conservação da água e do solo.

As vazões em cursos hídricos correspondem a um volume de água que passa por uma seção em um determinado período de tempo. É uma grandeza intensiva e instantânea, normalmente monitorada em cursos hídricos de interesse através das estações fluviométricas. As vazões são amplamente utilizadas para o planejamento e gestão de recursos hídricos e para a elaboração de projetos hidro-agrícolas (BOURGUIGNON et al., 2021, CECÍLIO et al., 2021; ABREU et al., 2022). Normalmente as vazões utilizadas para a caracterização hidrológica de bacias são as vazões máximas anuais ( $Q_{max}$ ), as vazões médias anuais ( $Q_{med}$ ), vazões médias de longa duração ( $Q_{mld}$ ) e vazões mínimas ( $Q_{min}$ ) a qual incluem a vazão mínima de 7 dias consecutivos ( $Q_7$ ).

A  $Q_{mld}$  é uma importante variável para caracterizar o potencial hídrico, visando regularização de fluxos, e sua determinação depende de série histórica com número considerável de anos (pelo menos 20 anos), o que não é sempre disponível (PRUSKI et al., 2013). As vazões médias em séries históricas são importantes para caracterização do potencial hídrico de uma região. (PRUSKI et al., 2013).

As vazões mínimas são utilizadas para determinação da disponibilidade hídrica e seus valores servem como referência na definição da vazão limítrofe a ser outorgada. Nos estados de Minas Gerais (LISBOA et al., 2019) e de São Paulo (WOLFF et al., 2014), região Sudeste do Brasil, a vazão mínima de referência para orientar a outorga do uso da água é baseada na vazão mínima média durante sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ). Para determinação da  $Q_{7,10}$ , além da disponibilidade de uma série histórica longa e consistente, existe a necessidade da aplicação de uma função densidade de probabilidades (PDF) para obtenção da frequência teórica associada ao período de retorno de 10 anos. Portanto, é necessário verificar diferentes PDFs e seu desempenho em representar o conjunto de dados de vazões mínimas por meio de testes de aderência (BARROS et al., 2018; FINKLER et al., 2015).

No Brasil, em esfera federal, a vazão mínima de referência é a que permanece no curso hídrico em, pelo menos, 95% do tempo ( $Q_{95}$ ) (SERRANO et al., 2020). A  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95}$  são amplamente utilizadas para definir o limite de permissão de captação de água. São ferramentas importantes para o gerenciamento e planejamento da água, embora representem diferentes condições em termos de limitação hídrica, em que a  $Q_{7,10}$  representa condições de vazões

mínimas mais extremas (SERRANO et al., 2020). Outras vazões mínimas de referência importante para o planejamento e gestão de recursos hídricos são as de permanência no curso hídrico em 90% ( $Q_{90}$ ), 80% ( $Q_{80}$ ) e 50% ( $Q_{50}$ ) do tempo (ABREU et al., 2022).

As vazões máximas, por sua vez, têm grande importância em projetos de dimensionamento hidráulico e em previsões de cheias (LOPES et al., 2016; MEDIERO et al., 2015). Normalmente, as vazões máximas são associadas a um período de retorno, que indica a segurança da obra, sendo está maior, quanto maior o período de retorno. No entanto, quanto maior o período de retorno, mais onerosa é a obra (CASSALHO et al., 2017). Normalmente, os períodos de retorno utilizados para obras variam entre 5 e 500 anos, dependendo do tipo de obra hidráulica.

## **2.2 Fatores determinantes das vazões**

Avaliações de tendências na disponibilidade hídrica e precipitação ao longo do tempo são essenciais para o planejamento de projetos com demanda de uso da água, evitando conflitos por presunção incorreta da disponibilidade hídrica em projetos. (ALEMU & BAWOKE, 2020; ARRIETA-CASTRO et al., 2020; FENTAW et al., 2017; TADESE et al., 2019). A precipitação é o fenômeno atmosférico que possui relação direta com as vazões (ZHAO et al., 2015), essencial para ocorrência dos processos hidrológicos vitais para manutenção das necessidades humanas e ecossistêmicas, e influencia na frequência e distribuição da disponibilidade das vazões nas bacias hidrográficas (CHAULUKA et al., 2019; ORKE e Li, 2021). Além disso, o uso e ocupação do solo influencia diretamente nas vazões, uma vez que interferem nas abstrações iniciais da precipitação, tempo de concentração e taxa de infiltração estável (RAO, 2020).

As séries históricas de vazão podem não apresentar comportamento estacionário devido à ação conjunta das alterações climáticas e antrópicas ou mesmo apresentarem tendências temporais. Portanto, uma abordagem conjunta desses fatores que são determinantes das vazões deve ser considerada (CECÍLIO et al., 2021). Cecílio et al. (2021) verificaram tendências nas vazões máximas, médias e mínimas na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo, em que, de maneira geral, acompanham as tendências dos padrões de precipitação. Já para a bacia do rio Santo Antônio, uma sub-bacia do Rio Doce, em Minas Gerais, em escala anual, apenas uma estação fluviométrica das seis estudadas apresentou tendências, enquanto que, em escala mensal, um número maior de tendências foram encontradas. Os autores atribuíram essas modificações de tendências à redução da precipitação e a elevada demanda de água na região, bem como devido às mudanças no uso e ocupação do solo. Deusdará-Leal et al. (2022) verificaram tendências nas vazões, precipitações e evapotranspiração para o sudeste do Brasil e detectaram que reduções na precipitação e evapotranspiração correspondem a uma porcentagem da redução observada em vazões. Os autores descreveram que em bacias menos chuvosas, a sensibilidade das vazões em resposta à precipitação é maior.

Adicionalmente, as modificações do uso e cobertura do solo (uso e ocupação do solo) devido a ações antrópicas são apontadas como um dos principais agentes na mudança dos padrões dos regimes das vazões (CHAULUKA et al., 2019; FENTA et al., 2017; GEBREMICHAEL et al., 2019; FENTA et al., 2017; GEBREMICHAEL et al. al., 2017; KLIMENT et al., 2011). Oliveira et al. (2018) verificaram que as mudanças no uso do solo podem gerar impactos positivos, como redução do escoamento superficial e aumento do escoamento de base, e negativos, como aumento da erosão do solo e riscos de enchentes na Bacia do Alto Rio Grande, sul de Minas Gerais. Isso porque as atividades antrópicas têm dominado de maneira inadequada áreas de bacias, ou seja, usando áreas acima da capacidade máxima de uso, representando um risco para o uso sustentável da terra (RAPALO et al., 2021).

Dessa forma, áreas de recarga de água, como os topos de morro podem contribuir negativamente com incremento de vazões máximas e redução de vazões mínimas, quando o uso do solo é inadequado.

As relações entre a precipitação, modificações nos padrões de uso e ocupação do solo e as vazões são extremamente importantes para fornecer informações úteis e apoiar decisões estratégicas do governo, especialmente quando a segurança dos recursos hídricos e a mitigação da seca são consideradas diante das mudanças climáticas (DEUSDARÁ-LEA et al., 2022). Por isso, recomenda-se a intensificação desse tipo de abordagem em estudos científicos.

### **2.3 Bacia do rio Paraíba do Sul**

O Rio Paraíba do Sul nasce no município de Paraibuna, no estado de São Paulo, na região da Serra da Bocaina, a partir da confluência do Rio Paraitinga com o Rio Paraibuna, região de divisa entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (BOURGUIGNON., et al, 2021), e desagua na praia de Atafona, município São João da Barra, no Estado do Rio de Janeiro. A partir do rio Paraíba do sul, forma-se a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que ocupa uma área de 57300 km<sup>2</sup>, na região sudeste do Brasil e pertence a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (OVALLE et al., 2013). Sua vasta rede hidrológica percorre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais e abrange 184 municípios, sendo 39 em São Paulo, 57 no Rio de Janeiro e 88 em Minas Gerais (BOURGUIGNON., et al, 2021). A área de drenagem da Bacia do Paraíba do Sul abriga mais de 5 milhões de pessoas e abastece aproximadamente 20 milhões de pessoas, abrange usinas de abastecimento de energia elétrica, barragens para regularização da vazão e é uma das regiões mais industrializados e populosos do Brasil.

A bacia hidrográfica do Paraíba do Sul é um importante recurso hidrológico para a região sudeste do Brasil, que vem passando por extensas mudanças de uso do solo relacionadas a atividades industriais, agrícolas e urbanas (OVALLE et al., 2013). O uso do solo na bacia ao longo do século XVIII era predominantemente cafeicultura. A substituição da vegetação nativa no Paraíba do Sul, especialmente devido a redução de áreas florestadas, diminuiu substancialmente as vazões mínimas e aumentou eventos de seca (ANDRADE & RIBEIRO, 2020).

A bacia apresenta uma rede de monitoramento hidrológico com boa distribuição espacial e temporal e, apesar disso, informações da dinâmica de vazões, precipitação e uso e ocupação do solo na bacia utilizando dados recentes é escasso.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Local de estudo**

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul pertence a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, localizada na região sudeste do Brasil (Figura 1a). Sua vasta rede hidrológica percorre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, ocupa cerca de 62.074 km<sup>2</sup> e abrange 184 municípios, sendo 39 em São Paulo, 57 no Rio de Janeiro e 88 em Minas. O Rio Paraíba do Sul nasce no município de Paraibuna, no estado de São Paulo, na região da Serra da Bocaina, a partir da confluência do Rio Paraitinga com o Rio Paraibuna, região de divisa entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (BOURGUIGNON., et al, 2021), e desagua na praia de Atafona, município São João da Barra, no Estado do Rio de Janeiro. A rede de drenagem da Bacia do Paraíba do Sul atende a uma das regiões mais populosas e industrializadas do País, possui várias centrais hidrelétricas e é a principal fonte de abastecimento hídrico da cidade do Rio de Janeiro, cujas águas foram transpostas para o Rio Guandu. A Serra da Mantiqueira, Serra da Bocaina,

Serra dos Órgãos e Serras do mar são divisores topográficos da bacia, comportam-se como barreiras orográficas, portanto contribuem para o aumento da precipitação na região (CAPOZZOLI; DE OLIVEIRA CARDOSO, 2020). Além disso, a pluviometria dessa região ocorre principalmente pela influência das massas de ar continentais equatoriais úmidas, pelo choque entre massas polares e tropicais atlânticas e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (SOBRAL et al., 2019). O relevo é, portanto, irregular, com altitudes variando entre o nível do mar a 2759 m. (Figura 1 b).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na Bacia do Paraíba do Sul abrange as classificações de Cwa (subtropical úmido com inverno seco e verão temperado), Cfa (subtropical oceânico com verão quente) na região de cabeceira da bacia, região com altitudes entre 800 e 500 metros. Nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e parte de Minas Gerais, em altitudes entre 500 e 250 metros, o clima é classificado como Aw (tropical com inverno seco) (ALVARES, et al., 2013).

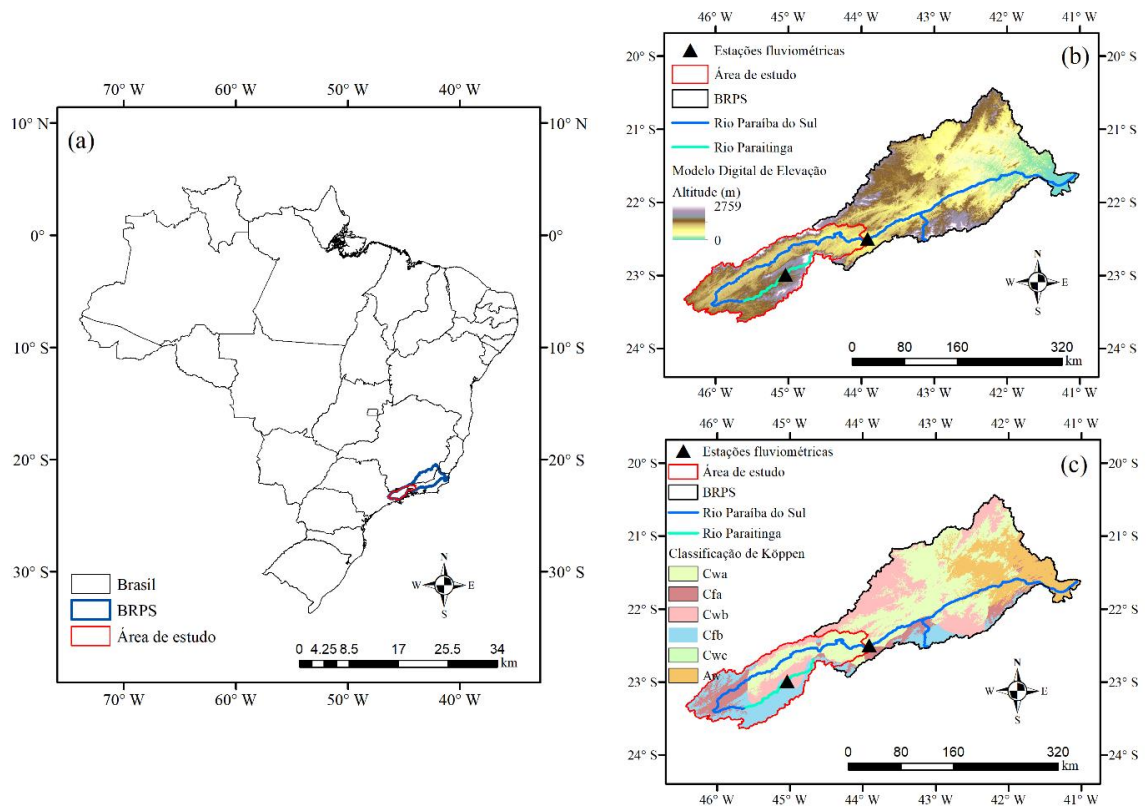
A área de estudo corresponde a região de influência (área à montante) da estação pluviométrica 58380001 (Figura 2 b, c e d), que compreende a região do Alto Paraíba do Sul engloba a porção da bacia do Paraíba do Sul no estado de São Paulo e Rio de Janeiro e parte de Minas Gerais. Essa região apresenta importantes e variados interesses socioeconômicos e apresenta uso intensivo da água (BAENA et al., 2004).

Os maiores totais anuais precipitados, aproximadamente 2541 mm e maiores desvios padrões, de 296 mm, foram observadas no litoral norte de São Paulo e na divisa dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (região próxima à Zona da Mata).

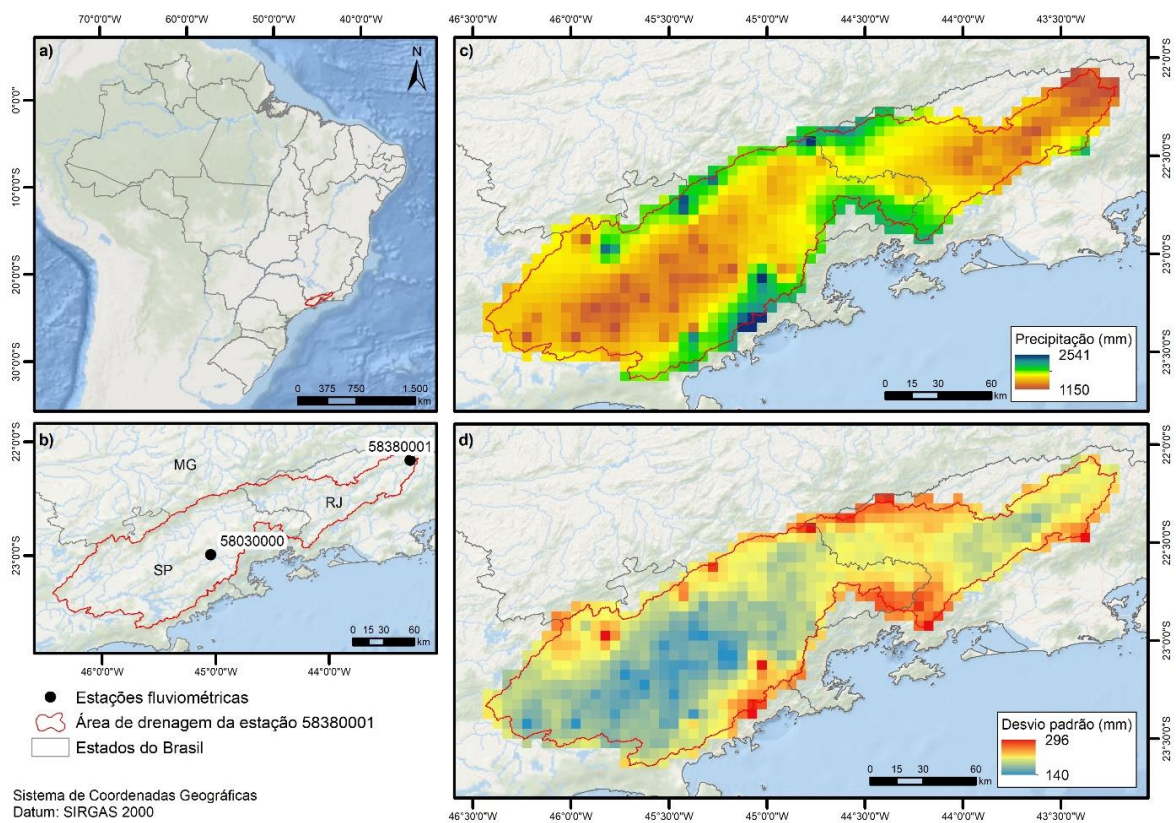
Conforme a Figura 2, os dados de precipitações máximas, médias e mínimas apresentam sazonalidade, os menores valores de precipitação estão concentrados nos meses de abril a agosto, com médias aproximadas de 200 mm mensais para precipitações máximas, 100 mm mensais para as precipitações médias e precipitações abaixo de 50 mm mensais para precipitações mínimas

Para os demais meses, as precipitações máximas apresentaram valores médios próximos de 250 mm mensais, 300 mm mensais para as precipitações médias e 220mm para as precipitações mínimas.

No mês de julho são observados os menores valores de precipitação, apresentando média de aproximadamente 20 mm para precipitação média mensal. Já no mês de fevereiro foi observado os maiores valores de precipitação, apresentando média de aproximadamente 215 mm.

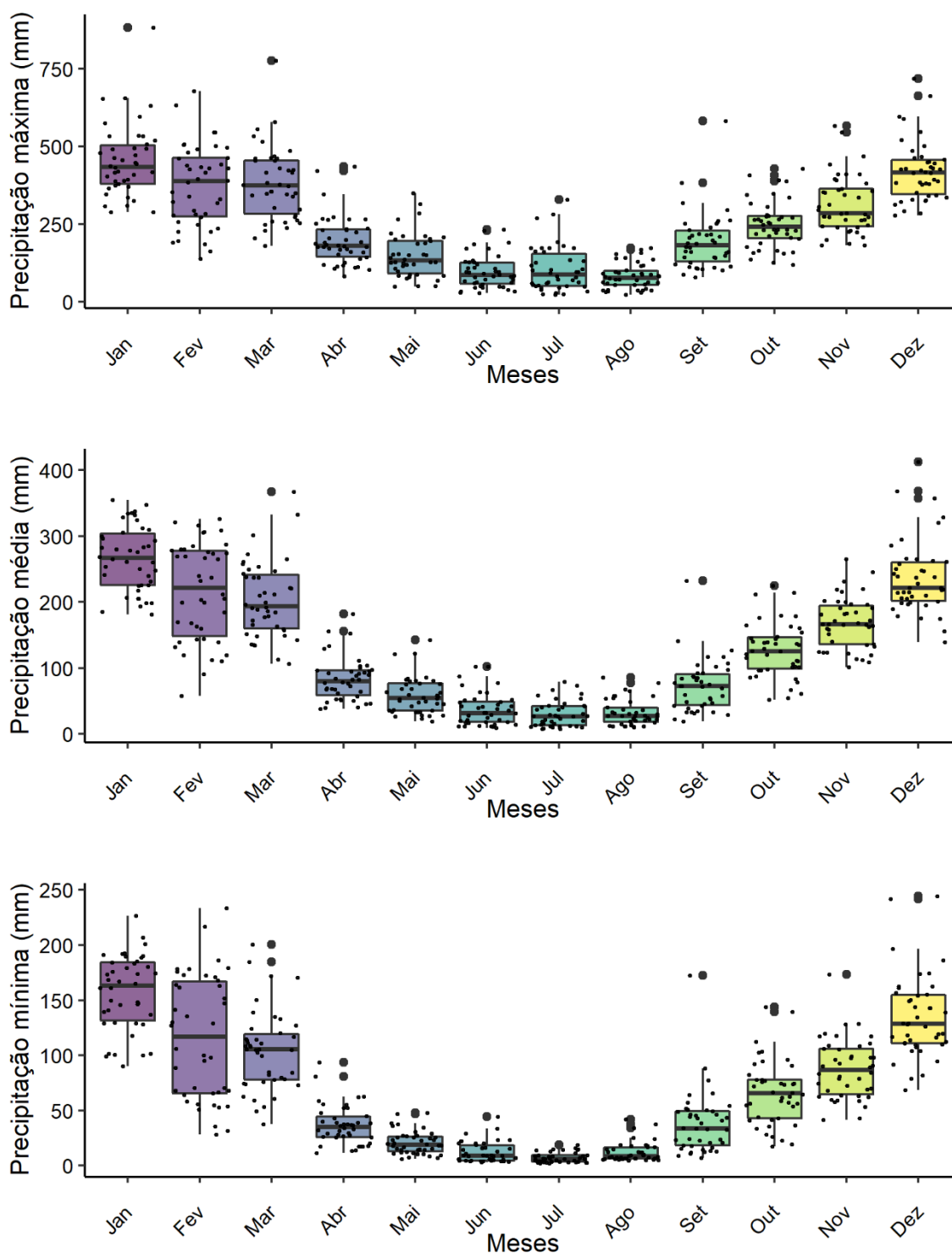


**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul no Brasil (a), modelo digital da área de estudo (b) e tipos climáticos de acordo com a classificação de Köppen na área de estudo (c). Fonte: Vieira (2023).



**Figura 2.** Distribuição espacial da precipitação anual e do desvio padrão, em mm, na área de estudo.





**Figura 3.** Distribuição sazonal da precipitação mensal máxima, média e mínima, em mm, na área de estudo.

### 3.2 Dados utilizados e softwares

O banco de dados das séries históricas de vazões foi coletado de 2 estações fluviométricas (Tabela 1) pertencente a Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Rede Hidrometeorológica

Nacional - HidroWeb. Primeiramente, foi feito um pré-processamento dos dados de vazões para verificação da disponibilidade dos dados, em relação ao período disponível, de 1985 a 2021, e a ausência de falhas. Para essa etapa, foi utilizado o software SisCAH, versão 1.0 (SisCAH, 2014), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. A estação fluviométrica 58380001 foi escolhida para determinação da área de influência e a estação 58030000 foi escolhida por estar a montante, dentro da área de influência.

**Tabela 1.** Informações das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Estação	Nome	Latitude (°S)	Longitude (°O)	Altitude (m)	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
58380001	Paraíba do Sul	-22.1628	-43.2864	280	21400
58030000	Estrada da Cunha	-22.9939	-45.0439	780	796

As vazões máximas anuais ( $Q_{max}$ ), médias anuais ( $Q_{med}$ ), mínimas de 7 dias consecutivos ( $Q_7$ ) e médias mensais foram calculadas usando o software SisCAH (SisCAH, 2014).

Os dados de uso e cobertura do solo (uso e ocupação do solo) foram obtidas no portal MapBiomias (SOUZA et al., 2020), uma rede colaborativa formada por organizações não governamentais, universidades e startups de tecnologia que objetiva o mapeamento anual da cobertura e uso do solo e monitoramos a superfície de água. Dados de uso e ocupação do solo de 1985 a 2021 foram obtidos e recortados para a área de interesse, delimitada a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017, disponibilizada pela ANA. As classes de uso e cobertura do solo utilizadas foram estão descritos na Tabela 2 e são: agricultura, apicum, aquicultura, área urbanizada, campo alagado e área pantanosa, formação florestal, formação savânica, mineração, mosaico de usos, outras áreas não vegetadas, pastagem, rio, lago e oceano, silvicultura e praia, duna e areia.

**Tabela 2.** Classes de uso e ocupação do solo utilizadas neste estudo.

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Descrição
Agricultura	Lavoura temporária e lavoura perene: áreas cultivadas
Apicum	Formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme
Aquicultura	Lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura
Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura
Campo Alagado e Área Pantanosa	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre
Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea
Formação Savânica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas
Mineração	Extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica
Mosaico de Usos	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura

Outras áreas Não Vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes
Pastagem	Pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária
Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água
Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária)
Praia, Duna e Areal	Cordões arenosos, de coloração branco brilhante, onde não há o domínio de vegetação de nenhum tipo

Dados de precipitação na área de estudo foi obtido através do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) em escala mensal, para caracterização da precipitação e em escala anual, para a análise das relações de chuva e vazões. A série de dados do produto CHIRPS contemplou o período entre 1985 e 2021. O produto CHIRPS possui uma resolução espacial de 0,05°, ou aproximadamente 5 km, próximo ao equador, cobertura geográfica de 50°S a 50°N e foi validado para o Brasil (COSTA et al., 2019).

### 3.3 Análises estatísticas

Primeiramente foram determinadas as estatísticas descritivas das vazões e precipitações anuais e representações em forma de tabelas e gráficos foram criados. Teste estatísticos de tendência e de significância de correlações foram utilizados com nível de significância de 5%. Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas em ambiente R (R CORE TEAM, 2022), usando os pacotes *modifiedmk* (PATAKAMURI & O'BRIEN, 2021), *trend* (POHLERT, 2020) e *corrplot* (WEI & SIMKO, 2021).

Os dados de  $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$ ,  $Q_7$ , de precipitação ( $P_{max}$ ,  $P_{med}$  e  $P_{min}$ ) e de áreas relativas às classes de uso do solo foram analisadas para verificação de tendências de aumento ou diminuição ao longo do tempo, para a área de estudo à montante da estação 58380001. A análise de tendência foi verificada por meio da regressão linear, teste de tendência de Mann-Kendall e teste de tendência de Pettitt.

A análise de regressão linear consiste em testar o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) da regressão entre a variável resposta (variável analisada) e a variável preditiva (anos) pelo teste t de Student. A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste t de Student é de que o coeficiente angular é igual a zero e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é de que o coeficiente angular é diferente de zero. Em caso de rejeição da  $H_0$ , considera-se  $\beta_1$  diferente de zero e admite-se presença de tendência temporal na série.

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL e STUART, 1976; KENDALL, 1975) vem sendo utilizado em estudos de avaliação das mudanças climáticas, podendo ser usado para identificação de tendências espaço-temporais de precipitação e vazão em regiões de interesse (BURN et al., 2011; SHAHID, 2011; VILLARINI et al., 2011; SANCHES et al., 2013; ZHANG e CONG, 2014; SALVIANO et al., 2016; ANDRADE & RIBEIRO, 2018; ANDRADE & RIBEIRO, 2020). O teste de Mann-Kendall é um teste de hipóteses, baseado na distribuição das observações ao longo do tempo. As hipóteses adotadas para o Teste Mann-Kendall geralmente são:  $H_0$ : Não há tendência presente nos dados e  $H_1$ : Existe tendência presente nos dados.

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

Em que  $x_i$  representa os valores da série, em geral tomados em intervalos de tempo anuais,  $i$  e  $j$  são os índices de tempo, e  $n$  é o número de elementos da série. O termo sinal ( $x_j - x_i$ ) é determinado por:

$$\text{sinal}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 \text{ se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 \text{ se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 \text{ se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Mann (1945) e Kendall (1975) explicitam que a estatística  $S$  segue aproximadamente uma distribuição normal para  $n > 8$ . Para dados sem elementos vinculados (valores iguais), a estatística de teste apresenta média  $E(S)$  e variância  $\text{Var}(S)$  dadas respectivamente por:

$$E(s) = 0$$

$$\text{Var}(s) = \frac{1}{18 \cdot [n \cdot (n - 1) \cdot (2 \cdot n + 5)]}$$

O teste de Pettitt também é um teste de hipótese, em que:  $H_0$ : Não há tendência presente nos dados.  $H_1$ : Existe tendência presente nos dados. O teste de Pettitt visa estabelecer se duas amostras pertencem a uma mesma população, sendo capaz de identificar o ponto de quebra da série.

A análise de correlação entre as variáveis  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{med}}$ ,  $Q_7$ ,  $P_{\max}$ ,  $P_{\text{med}}$  e  $P_{\min}$  e de áreas relativas às classes de uso do solo bem como dos índices Standardized Precipitation Index (SPI) e Standardized Streamflow Index (SSI) foi realizada com o objetivo de verificar as possíveis influências entre as variáveis. A correlação entre duas variáveis é calculada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Em que  $x_i$  é o valor da variável  $x$  e  $y_i$  é o valor da variável  $y$ , na  $i$ -ésima posição.

O SPI é um índice amplamente utilizado para caracterizar a seca meteorológica em uma variedade de escalas de tempo, enquanto o SSI caracterizar a seca hidrológica. O cálculo do SPI e do SSI é similar, contemplando a diferença entre o valor de precipitação/vazão na  $i$ -ésima posição e a média da série de precipitação/vazão, dividido pelo desvio padrão das séries de precipitação/vazão. Estudos comprovaram que um único índice de seca não representa as reais características do fenômeno, portanto é recomendado que se utilize vários índices para melhor representatividade das secas (KEYANTASH & DRACUP 2004; & MOGHIMI et al., 2020). A classificação dos índices SPI e SSI é apresentada na Tabela 2 (BLAIN et al., 2010; ZALOKAR, KOBOLD & SRAJ, 2021).

**Tabela 3.** Classificação de seca de acordo com o SSI e SPI.

Valores de SSI e SPI	Classificação
> 2,00	Extremamente úmido
1,50 – 1,99	Severamente úmido
1,00 – 1,49	Moderadamente úmido
0,00 – 0,99	Umidade incipiente
0,00 - -0,99	Seca Incipiente
-1,00 - -1,49	Moderadamente seco
-1,50 - -1,99	Severamente seco
< -2,00	Extremamente seco

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estatísticas descritivas

A Estação 58380001 apresentou maiores valores de  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{med}}$  e  $Q_7$  e maiores desvios padrões do que a Estação 58030000, pois sua área de drenagem é maior.

As estatísticas descritivas das vazões das estações 58380001 e 58030000 são mostradas na Tabela 4 e as vazões médias de longa duração em escala mensal estão na Tabela 5.

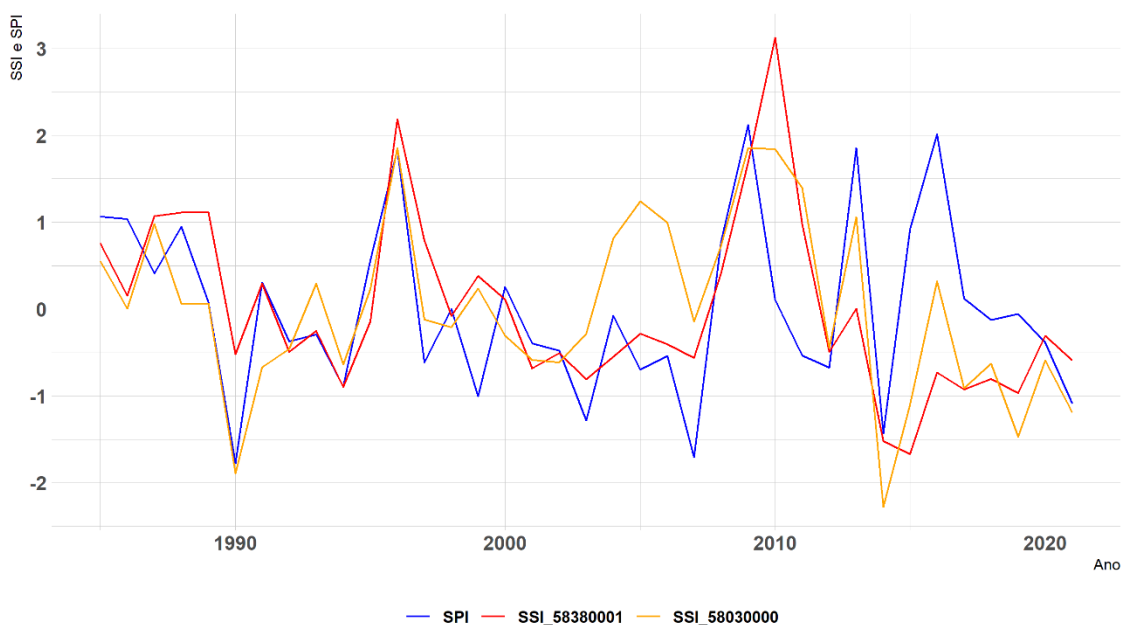
**Tabela 4.** Médias e desvios padrões das vazões máximas, médias e mínimas das Estações 58380001 e 58030000, bacia do Paraíba do Sul.

Estação	Média de $Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	DP de $Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /s)	Média de $Q_{\text{med}}$ (m <sup>3</sup> /s)	DP de $Q_{\text{med}}$ (m <sup>3</sup> /s)	Média de $Q_7$ (m <sup>3</sup> /s)	DP de $Q_7$ (m <sup>3</sup> /s)
58380001	699,76	229,19	138,88	51,96	69,43	16,21
58030000	53,85	14,20	13,37	2,91	6,65	1,51

A Figura 3 mostra o SPI da área de estudo e o SSI das estações fluviométricas analisadas. Há tendência de que nos anos com maiores SPI, apresentem maiores SSI nas duas estações. Além disso, em alguns anos houve atraso na resposta do SSI em relação aos picos de SPI, como em 2009 (pico de SPI) e 2010 (pico de SSI). Os índices SPI e SSI apresentam alguma correspondência, justificando os estudos que verificam a relação chuva vazão. Eventos extremos de seca e umidade meteorológicas e hidrológicas foram mais frequentes a partir de 2009.

**Tabela 5.** Médias mensais de longa duração das Estações 58380001 e 58030000, na área de estudo.

Mês	Média Mensal de longa duração (m <sup>3</sup> /s)	
	58380001	58030000
Janeiro	236,23	18,61
Fevereiro	252,28	20,47
Março	212,95	19,21
Abril	147,75	14,27
Mai	103,98	11,26
Junho	100,89	9,95
Julho	91,51	8,82
Agosto	87,28	7,92
Setembro	91,13	7,98
Outubro	96,23	8,93
Novembro	114,29	10,65
Dezembro	159,78	14,20



**Figura 4.** Variação temporal dos índices SSI para as estações fluviométricas e SPI na área de estudo.

A Tabela 6 mostra o número de anos de acordo com a classificação do SPI e SSI. Para a maioria dos anos os valores de SPI e SSI ficaram entre 1- e 1, indicando umidade/seca incipiente em termos meteorológicos e hidrológicos. Em termos de condições meteorológicas condicionadas pela classificação do SPI, foram observados um maior número de anos com seca incipiente (15 ocorrências) e anos com umidade incipiente (10 ocorrências). Em relação às condições hidrológicas, o padrão foi o mesmo com um maior número de anos com seca incipiente com 20 e 14 ocorrências, nas estações 58380001 e 58030000, respectivamente, seguido de anos com umidade incipiente com 9 e 12 ocorrências, nas estações 58380001 e 58030000, respectivamente (Tabela 5). Poucos anos apresentaram condições de seca meteorológica ou hidrológica severa ou extrema, assim como umidade severa ou extrema.

**Tabela 6.** Número de ocorrências de eventos das classificações dos eventos de seca meteorológica pelo SPI na área de estudo e seca hidrológica pelo SSI nas estações 58380001 e 58030000.

Classificação	SPI	SSI_58380001	SSI_58030000
Extremamente úmido	2	2	0
Severamente úmido	2	1	3
Moderadamente úmido	2	3	3
Umidade Incipiente	10	9	12
Seca Incipiente	15	20	14
Moderadamente seco	4	0	3
Severamente seco	2	2	1
Extremamente seco	0	0	1

Os índices de seca podem apresentar comportamentos similares aos impactos hídricos na agricultura a longo prazo, e aos impactos hidrológicos como diminuição da vazão de um trecho de drenagem (BARUA et al., 2010; JIANG et al., 2015) e ainda podem ser utilizados

para parametrização de modelos de previsão dos impactos das mudanças climáticas (WEHNER 2013). Muitos estudos indicaram que um único índice de seca pode não ilustrar as verdadeiras descrições de anomalias de seca e, portanto, uma abordagem de vários índices deve ser usada para a avaliação abrangente de secas (KEYANTASH & DRACUP 2004; MOGHIMI et al., 2020). Por exemplo, o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) foi usado para a avaliação do impacto das mudanças climáticas (WEHNER 2013). A abordagem do SPI pode ser usada para várias superfícies terrestres ou variáveis climáticas, como o Índice de Umidade do Solo Padronizado (SSI) (HAO & AGHAKOUCHAK 2014).

Por outro lado, a seca hidrológica é descrita como um fenômeno em que a quantidade de água disponível (água subterrânea, fluxo do rio) é menor do que a demanda normal (HILL & POLSKY, 2007). Vários tipos de índices de seca foram formulados para fornecer informações completas sobre a seca histórica e para usar a situação atual em uma perspectiva histórica. O comportamento dos índices de seca imita diferentes condições relacionadas ao impacto agrícola tardio (por exemplo, déficit de umidade do solo) e impactos hidrológicos (por exemplo, baixo fluxo de córrego). Nos últimos tempos, um grande número de índices de seca tem sido recomendado na literatura de pesquisa e amplamente aplicado em muitas regiões do mundo (BARUA et al., 2010; JIANG et al., 2015).

#### **4.2 Tendências e correlações entre vazões, precipitações e classes de uso e ocupação do solo**

Não foram encontradas tendências para a  $P_{max}$ ,  $P_{med}$  e  $P_{min}$  para a área de estudo. Somente a  $Q_{med}$  e  $Q_7$  apresentaram tendências de redução na estação 58380000 (Tabela 7). A consequência da redução da vazão média ( $Q_{med}$ ) e vazão mínima ( $Q_7$ ) é a redução da disponibilidade hídrica, podendo afetar a demanda de água disponível para uso. A redução de vazões médias e mínimas têm sido estudadas em diversas localidades e os principais motivos atribuídos à essa modificação no padrão de vazão é a precipitação e o uso e ocupação do solo (MENDES; CECÍLIO; ZANETTI, 2018; CECÍLIO et al., 2021).

**Tabela 7.** Análise das tendências das precipitações máximas ( $P_{\max}$ ), médias ( $P_{\text{med}}$ ) e mínimas ( $P_{\min}$ ) para a área de estudo e vazões máximas ( $Q_{\max}$ ), médias ( $Q_{\text{med}}$ ) e mínimas ( $Q_7$ ) para as Estações 58380001 e 588380000.

Estação	Variável	$\beta_0$	p-valor $\beta_0$	$\beta_1$	p-valor $\beta_1$	p-valor teste de Mann-Kendall	Sen's slope	p-valor teste de Pettitt	Ano de mudança
58380001	$Q_{\max}$	11952,9933	0,0926	-5,6182	0,1125	0,1324	-5,3430	0,4467	29
	$Q_{\text{med}}$	3460,9579	0,0295	-1,6585	<b>0,0362</b>	<b>0,0053</b>	-1,7699	<b>0,0217</b>	29
	$Q_7$	1267,5530	0,0099	-0,5982	<b>0,0143</b>	<b>0,0253</b>	-0,5455	0,0833	16
	SSI	63,9331	0,0362	-0,0319	<b>0,0362</b>	<b>0,0053</b>	-0,0341	<b>0,0217</b>	29
58030000	$Q_{\max}$	115,7768	0,7958	-0,0309	0,8899	0,8037	0,0319	0,5745	29
	$Q_{\text{med}}$	94,0304	0,3026	-0,0403	0,3756	0,3139	-0,0549	0,0609	29
	$Q_7$	57,2852	0,2270	-0,0253	0,2844	0,4639	-0,0282	0,0714	30
	SSI	27,7535	0,3756	-0,0139	0,3756	0,3139	-0,0189	0,0609	29
Área de estudo	$P_{\max}$	-649,3179	0,9361	1,6021	0,6924	0,8445	-0,8633	0,7535	4
	$P_{\text{med}}$	3199,2333	0,4961	-0,8324	0,7221	0,3015	-2,2453	0,6312	5
	$P_{\min}$	768,4478	0,8477	0,1423	0,9432	0,9896	-0,0403	1,0000	23
	SPI	11,1917	0,7222	-0,0056	0,7221	0,3015	-0,0151	0,6312	5

Valores em negrito são significativos a 5% de probabilidade e apresentam tendência temporal.



O uso e ocupação do solo (uso e ocupação do solo) apresentou tendências para quase todas as classes, exceto a classe Formação savânica. As classes de uso e ocupação do solo que apresentaram tendência de aumento de área de 1985 até 2021 foram Aquicultura, Área Urbanizada, Formação Florestal, Mineração, Silvicultura e Praia, Duna e Areal e as classes de uso e ocupação do solo que apresentaram tendências de redução em áreas foram Apicum, Campo Alagado e Área Pantanosa, Mosaico de Usos, Outras áreas Não Vegetadas, Pastagem e Rio, Lago e Oceano e a classe Formação Savânica, que não mostrou tendência de aumento ou diminuição (Tabela 8).

As classes de uso e ocupação do solo que apresentaram mudanças mais expressivas de área entre 1985 e 2021 foram o aumento da silvicultura (25609,23%), formação savânica (15554,55%), área de mineração (288,04%), área urbanizada (168,11%), área agrícola (106,14%) e aumento não significativo da formação florestal (4,68%) e a diminuição da área de Campo Alagado e Área Pantanosa (-15,45%), Apicum (-16,67%), Rio, Lago e Oceano (-19,62%), Mosaico de Usos (-24,65%) e Outras áreas Não Vegetadas (-61,30%), indicando a necessidade de atenção a inícios de processos de desertificação e extinção de espécies endêmicas da Mata Atlântica a longo prazo (Tabela 9).

Houve também um aumento significativo na área da Aquicultura (2485,29%), que pode estar relacionada com a redução das áreas de Campo Alagado e Área Pantanosa (-15,45%), e de Apicum (-16,67%), consideradas feições do manguezal, áreas de transição entre o mangue e a terra firme (SILVA, 1965; BUENO, 1983; CUNHA, 1999).

As alterações no uso da terra, caracterizadas pelo aumento das áreas agrícolas e silviculturas, além da área urbanizada em torno do rio Paraíba do Sul, podem ter impactado nas vazões médias e mínimas. A região possui elevada densidade demográfica e conflitos pelo uso da água são efetivos (DEMANBORO, 2015). Alguns estudos apontam que o reflorestamento pudesse gerar substancial incremento da evapotranspiração real (GRIBOVSKI et al., 2017), em especial nos meses mais secos (CHRISTINA et al., 2017). Desta forma, as vazões mínimas, e até as vazões médias dos meses mais secos, tendem a ser reduzidas, conforme tendência evidenciadas na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (CECÍLIO et al., 2021).

**Tabela 8.** Análise das tendências das áreas das classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.

uso e ocupação do solo	$\beta_0$	p-valor $\beta_0$	$\beta_1$	p-valor $\beta_1$	p-valor teste de Mann-Kendall	Sen's slope	p-valor teste de Pettitt	Ano de mudança
Agricultura	-21019,8942	0,0000	10,7284	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	10,5142	<b>0,0000</b>	18
Apicum	1,0356	0,0000	-0,0005	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	-0,0005	<b>0,0003</b>	22
Aquicultura	-1228,8993	0,0000	0,6193	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	0,6959	<b>0,0000</b>	18
Área Urbanizada	-24705,0827	0,0000	12,5861	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	11,9486	<b>0,0000</b>	18
Campo Alagado e Área Pantanosa	21,0348	0,0104	-0,0100	<b>0,0144</b>	<b>0,0108</b>	-0,0108	<b>0,0003</b>	17
Formação Florestal	-28171,8457	0,0000	17,4128	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	18,9652	<b>0,0000</b>	20
Formação Savânica	-13,0592	0,0927	0,0066	0,0912	0,3933	0,0002	0,2369	8
Mineração	-555,3930	0,0000	0,2824	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	0,2526	<b>0,0000</b>	18
Mosaico de Usos	42636,6565	0,0000	-19,5464	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	-16,1246	<b>0,0015</b>	14
Outras áreas não Vegetadas	1296,6639	0,0000	-0,6296	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	-0,5505	<b>0,0000</b>	18
Pastagem	93295,9484	0,0000	-42,0403	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	-49,1877	<b>0,0000</b>	21
Rio, Lago e Oceano	5353,5722	0,0000	-2,4707	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	-2,5568	<b>0,0000</b>	15
Silvicultura	-45314,0404	0,0000	22,7656	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	22,5323	<b>0,0000</b>	18
Praia, Duna e Areal	-0,1279	0,0000	0,0001	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	0,0000	<b>0,0000</b>	20

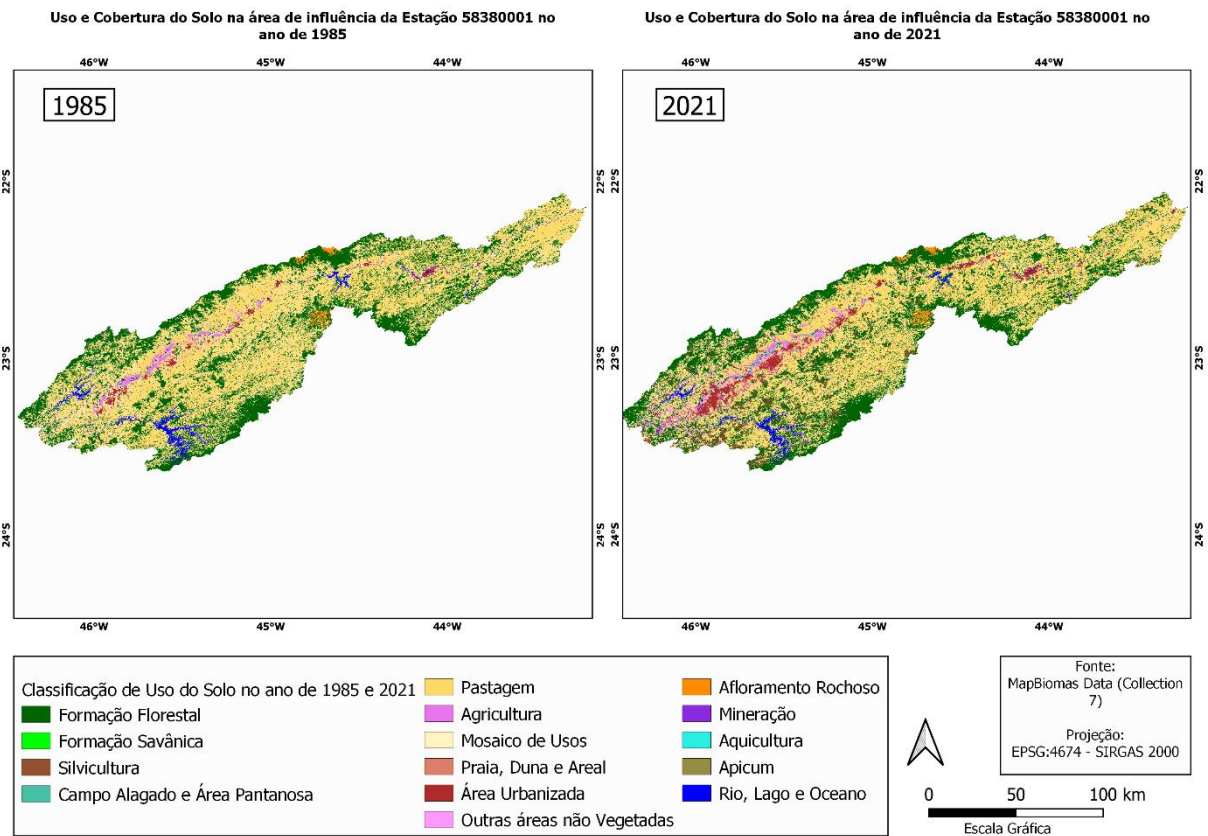
Valores em negrito são significativos a 5% de probabilidade e apresentam tendência temporal.

A análise visual dos mapas com as classificações do uso e ocupação do solo em 1981 e 2021 corresponde as estatísticas analisadas (Figura 4). O crescimento urbano ocorre predominantemente no entorno da área de drenagem do rio. A área de pastagem está sendo ocupada por outros usos do solo, como a agricultura. As áreas de silvicultura estão concentradas na região de cabeceira do Rio Paraibuna, no estado de São Paulo. Justamente nessas regiões, ocorrem as modificações do uso e ocupação do solo de maneira mais expressiva. Obviamente as tendências temporais individualmente não são suficientes para apontar a relação causa-consequência da redução das  $Q_{med}$  e  $Q_7$  na estação 58380001. Por isso, a correlação anual da precipitação, classes de uso e ocupação do solo e das vazões ( $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$  e  $Q_7$ ) podem oferecer subsídios numéricos para essa interação.

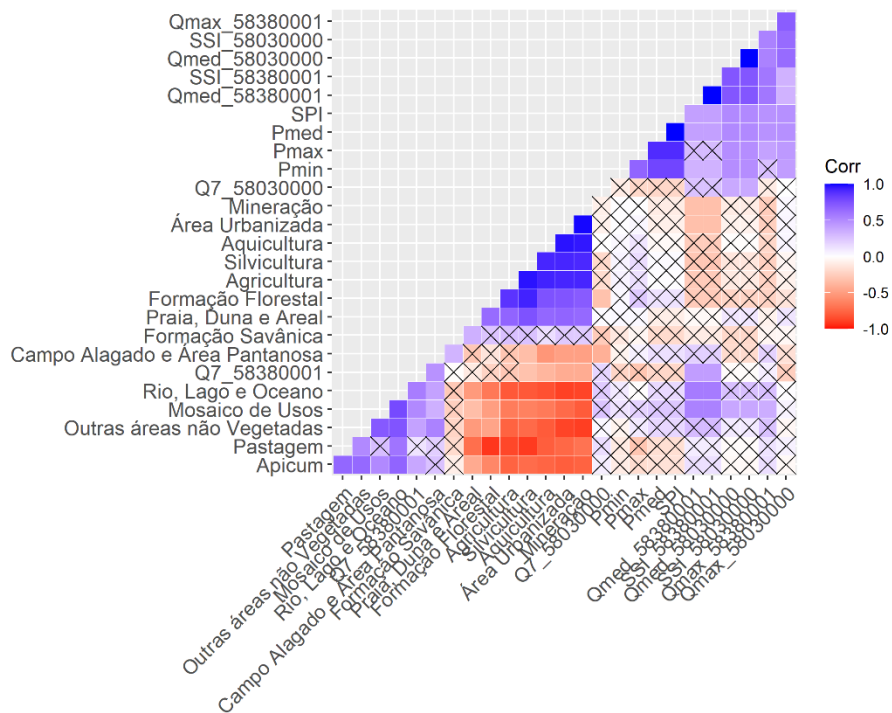
**Tabela 9.** Diferença na área das diferentes classes de uso e ocupação do solo entre 1985 e 2021, e a diferença percentual entre os anos na área de estudo.

Uso e ocupação do solo	Área em 1985 (ha)	Área em 2021 (ha)	Diferença (%)
Agricultura	3.226,284	6.650,811	106,14
Apicum	0,0108	0,009	-16,67
Aquicultura	0,6732	174,042	2485,29
Área Urbanizada	2.555,856	6.852,528	168,11
Campo Alagado e Área Pantanosa	18,351	15,516	-15,45
Formação Florestal	67.431,609	70.589,736	4,68
Formação Savânica	0,0099	15,498	15554,55
Mineração	36,342	141,021	288,04
Mosaico de Usos	40.842,171	30.775,896	-24,65
Outras áreas Não Vegetadas	665,865	257,661	-61,30
Pastagem	90.782,883	84.067,992	-7,40
Rio, Lago e Oceano	4.416,606	3.550,086	-19,62
Silvicultura	2,682	6.895,215	25.609,23
Praia, Duna e Areal	0	0,0027	0,27

A Figura 5 mostra a correlação entre as vazões ( $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$  e  $Q_7$ ), precipitações ( $P_{max}$ ,  $P_{med}$  e  $P_{min}$ ) e classes de uso e ocupação do solo na área de estudo. Correlações não significativas (marcadas com “X”) foram encontradas entre as vazões ( $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$  e  $Q_7$ ) da estação 58030000 e os usos e ocupação do solo. Para a estação 58380001, destacam-se as correlações negativas entre as  $Q_{med}$  e  $Q_7$ , com tendências temporais de redução, e classes de usos como a mineração ( $r = -0,33$  e  $-0,43$ , respectivamente), área urbanizada ( $r = -0,33$  e  $-0,43$ , respectivamente), silvicultura ( $r = -0,29$  e  $-0,32$ , respectivamente) e aquicultura ( $r = -0,26$  e  $-0,38$ , respectivamente), classes de uso e ocupação do solo com tendências temporais de aumento. Essas correlações indicam que há uma correspondência entre o crescimento em área da mineração, área urbana, silvicultura e aquicultura e as reduções de  $Q_{med}$  e  $Q_7$ . Embora a magnitude dessas tendências de redução de  $Q_{med}$  e  $Q_7$  sejam de  $-1,77$  e  $-0,55$   $m^3/s/ano$  (Sen’s slope – Tabela 6), ressalta-se a importância de um planejamento da bacia para comportar as atividades econômicas, conduzir de maneira adequada o crescimento urbano e não acentuar os conflitos pelo uso da água na bacia.



**Figura 5.** Uso e Cobertura do Solo na área de influência da Estação 58380001 nos anos de 1985 e 2021.



**Figura 6.** Correlação entre as vazões máximas, médias e mínimas de 7 dias consecutivos e a precipitação, índices SPI e SSI e classes de uso e ocupação do solo na área de influência da estação 58380001.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo fornece informações úteis para apoiar decisões estratégicas do governo, comitês de bacias e agentes de planejamento e gestão de recursos hídricos, especialmente quando a segurança dos recursos hídricos e a mitigação da seca são consideradas diante das mudanças climáticas e mudanças no uso e ocupação do solo. Com base nos resultados encontrados podemos concluir que:

Foram encontradas tendências significativas de redução para a vazão média e vazão mínima de 7 dias consecutivos na Estação 5838001, trazendo como consequência a possibilidade de redução da disponibilidade hídrica na região estudada.

Não foram encontradas tendências para precipitação, portanto outros fatores podem estar influenciando nas reduções das vazões médias ( $Q_{med}$ ) e mínimas ( $Q_7$ ).

A maioria das classes de solo apresentaram tendências significativas, isso representa a possibilidade de as vazões estarem sendo influenciadas pelas tendências de modificações nos padrões de uso do solo ao longo do tempo.

Correlações significativas entre as vazões médias e mínimas de 7 dias consecutivos na estação 5838001 com áreas de mineração ( $r = -0,33$  e  $-0,43$ , respectivamente), área urbanizada ( $r = -0,33$  e  $-0,43$ , respectivamente), silvicultura ( $r = -0,29$  e  $-0,32$ , respectivamente) e aquicultura ( $r = -0,26$  e  $-0,38$ , respectivamente) dão indícios da influência do uso e ocupação do solo nas vazões com tendências significativas.

## 6 REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C.; FRAGA, M. S.; ALMEIDA, L. T.; SILVA, F. B.; CECÍLIO, R. A.; LYRA, G. B.; DELGADO, R. C. Streamflow in the Sapucaí River watershed, Brazil: Probabilistic modeling, reference streamflow, and regionalization. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 126, 103133, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103133>

ACHUGBU, I. C.; OLUFAYO, A. A.; BALOGUN, I. A.; DUDHIA, J.; McALLISTER, M.; ADEFISAN, E. A.; NAABIL, E. Potential effects of Land Use Land Cover Change on streamflow over the Sokoto Rima River Basin. **Heliyon**, v. 8, n. 7, e09779, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09779>

ALEMU, M. M.; BAWOKE, G. T. Analysis of spatial variability and temporal trends of rainfall in Amhara region, Ethiopia. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 1505-1520, 2020.

ANDRADE, M. P.; RIBEIRO C. B. M. Análise de tendências no comportamento da chuva na bacia do rio Paraíba do Sul. In: **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Anais Juiz de Fora: UFJF. n.p. 2018.

ANDRADE, M. P.; RIBEIRO C. B. M. Impactos da mudança de uso e cobertura da terra no rio Paraíba do Sul, o que gerou a vazão usando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, 2020. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190034>

ALVARES, C. A.; JL, STAPE; SENTELHAS, P. C. GONÇALVES JIM AND SPAROVEK, Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ARRIETA-CASTRO, M.; RODRIGUEZ, A. D.; ACUÑA, G. J.; CANALES, F. A.; TEEGAVARAPU, R. S. V.; KAZMIERCZAK, B. Analysis of streamflow variability and trends in the meta river, Colombia. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1451, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12051451>

BABAEI, M.; MOEINI, R.; EHSANZADEH, E. Artificial neural network and support vector machine models for inflow prediction of dam reservoir (case study: Zayandehroud dam reservoir). **Water Resources Management**, v. 33, p. 2203-2218, 2019

BAENA, L.G. N.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 612-624, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000300013>

BARROS, C. G. D.; PESSOA, F. C. L.; SANTANA, L. R.; LOPES, Y. K. L.; COSTA, C. E. A. S. Vazão mínima Q7,10 no Amapá estimada por modelos probabilísticos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, p. 284-294, 2018

BARUA, S.; PERERA, B. J. C.; NG, A. W. M. & TRAN, D. Drought forecasting using an aggregated drought index and artificial neural network. **Journal of Water and Climate Change**. v.1, n.3, p. 193-206, 2010. <https://doi.org/10.2166/wcc.2010.000>

BLAIN, G. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.10, p.1067-1073, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001000007>

BUENO, F. S. **Vocabulário tupi, guarani**, portugues. ed. Gráfica Nagy. São Paulo, 1983.

BURN, D. H.; RAMI, M.; ZHANG, K.; WHITFIELD, P. H. Trends and Variability in Extreme Rainfall Events in British Columbia. **Canadian Water Resources Journal**, v. 36, n. 1, p. 67-82, 2011. <https://doi.org/10.4296/cwrj3601067>

BOURGUIGNON, D. A. S.; FRAGA, M. S.; LYRA, G. B.; CECÍLIO, R. A.; ABREU, M. C. Effect of rainfall seasonality and land use on the water quality of the Paraíba do Sul river. **Engenharia na Agricultura**, v. 29(Continua), p. 211-228, 2021. <https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.11825>

CAPOZZOLI, CALUAN RODRIGUES; DE OLIVEIRA CARDOSO, ANDREA. Effects of land use change on discharge of the Paraíba do Sul river. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e53-e53, 2020. <https://doi.org/10.5902/2179460X40832>

CARVALHO, E. C. A.; SANTOS, E. D. O impacto econômico na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, na região do estado de São Paulo sustentabilidade ou crise. Tese de Doutorado. **Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano)** Universidade do Vale do Paraíba, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, 2008. <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/04.09.16.42>>

CASSALHO, F.; BESKOW, S.; VARGAS, M. M.; MOURA, M. M.; ÁVILA, L. F.; MELLO, C.R. Hydrological regionalization of maximum stream flows using an approach based on L-moments. **Revista Brasileira Recursos Hídricos**, v. 22, 2017.

CECÍLIO, R. A.; GONÇALVES, C. J.; ZANETTI, S. S.; ABREU, M. C.; ALMEIDA, L. T. Trends in monthly and annual streamflow related to rainfall and land use at the Atlantic rainforest biome. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112 (Part 2), 103600, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103600>

CHAULUKA, F.; SINGH, S.; KUMAR, R. Rainfall and streamflow trends of thuchila river, southern Malawi. **Materials Today: Proceedings**, v. 34, p. 846-855, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.228>

CIGIZOGLU, H.K., BAYAZIT, M., ÖNÖZ, B. Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers. **J. Hydrometeorol.** 6, 280-290, 2005. doi:10.1175/JHM412.1.

COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228-243, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>

CHRISTINA, M. et al. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 509–519, fev. 2017.

CUNHA, A. G. Dicionário Histórico das Palavras Portuguesas de Origem Tupi. São Paulo: **Melhoramentos**, v.5, p. 397, 1999.

DDAMULIRA, Robert. **Climate change and energy in East Africa**, 2016.

DEMANBORO, A. C. Gestão ambiental e sustentabilidade na macrometrópole paulista - Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Soc. & Nat.**, v. 27, n. 3, p. 515-530, 2015. <https://doi.org/10.1590/1982-451320150311>

DEUSDARÁ-LEAL, K.; MOHOR, G.S.; CUARTAS, L.A.; SELUCHI, M.E.; MARENGO, J.A.; ZHANG, R.; BROEDEL, E.; AMORE, D.D.J.; ALVALÁ, R.C.S.; CUNHA, A.P.M.A.; GONÇALVES, J. A. C. Trends and Climate Elasticity of Streamflow in South-Eastern Brazil Basins. **Water**, v. 14, 2245. 2022. <https://doi.org/10.3390/w14142245>

FENTA, A.A.; YASUDA, H.; SHIMIZU, K.; HAREGEWEYN, N. Response of streamflow to climate variability and changes in human activities in the semiarid highlands of northern Ethiopia. **Reg. Environ. Change** 17, 1229–1240. doi:10.1007/s10113-017-1103-y. 2017.

FENTAW, F.; HAILU, D.; NIGUSSIE, A. Trend and variability analysis of rainfall & stream flow series at Tekeze river basin, Ethiopia. **Int. J. Sci.** 2017.

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, D. B.; ALMEIDA, L. T. Tendências de séries temporais de valores e precipitações na bacia do rio Santo Antonio, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p47-55/2021>

FINKLER, N. R.; MENDES, L. A.; SCHNEIDER, H. E. M.; BORTOLIN, T. A.; SCHNEIDER, V. E. Comparação de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima anual e sazonal. **Sci. Cum Ind.**, v. 3, p. 42–49, 2015

GEBREMICAEL, T. G.; MOHAMED, Y. A.; ZAAG, P. & HAGOS, E. Y. Temporal and spatial changes of rainfall and streamflow in the Upper Tekezē–Atbara river basin, Ethiopia. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 4, p. 2127-2142, 2017. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2127-2017>

GOMES, F. B. R.; VARGAS, I. S.; PROCÓPIO, A. S.; CASTRO, S. R.; RIBEIRO, C. B. M.; Estudo na variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Revista **Brasileira de Climatologia**, v. 28, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74380>

GONG, G.; WANG, L.; CONDON, L.; SHEARMAN, A.; LALL, U.; A simple framework for incorporating seasonal streamflow forecasts into existing water resource management practices 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 3, p. 574-585, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00435.x>

GRIBOVSKI, Z. et al. Groundwater uptake of different surface cover and its consequences in great Hungarian plain. **Ecological Processes**, v. 6, n. 1, p. 39, 2017

HAO, G.; AGHAKOUCHAK, A.; NAKHJIRI, N. & FARAHMAND, A. Global integrated drought monitoring and prediction system. **Scientific data**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2014. <https://doi.org/10.1038/sdata.2014.1>

HILL, Troy D.; POLSKY, Colin. Suburbanization and drought: A mixed methods vulnerability assessment in rainy Massachusetts. **Environmental Hazards**, v. 7, n. 4, p. 291-301, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.08.003>

JIANG, R.; XIE, J.; He, H.; LUO, J. & ZHU, J. Use of four drought indices for evaluating drought characteristics under climate change in Shaanxi, China: 1951–2012. **Natural Hazards**. v.75, n.3, p. 2885–2903, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1468-x>

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. 4th Edition, Charles Griffin, London. 1975

KENDALL, M. G.; STUART, A. **The Advanced Theory of Statistics**, Vol. 3. Hafner, New York. 1976.

KEYANTASH, JOHN A.; DRACUP, JOHN A. An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. **Water Resources Research**, v. 40, n. 9, 2004. <https://doi.org/10.1029/2003WR002610>

KHAN, M. I.; ZHU, X.; ARSHAD, M.; ZAMAN, M.; NIAZ, Y.; ULLAH, I.; ANJUM, M. N.; UZAIR, M. Assessment of spatiotemporal characteristics of agro-meteorological drought events based on comparing Standardized Soil Moisture Index, Standardized Precipitation Index and Multivariate Standardized Drought Index. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. S1, p. 1-17, 2020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.280>

KLIMENT, Z.; MATOUSKOVA, M.; LEDVINKA, O. Trend analysis of rainfall-runoff regimes in selected headwater areas of the Czech Republic. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 59, n. 1, p. 36, 2011. <https://doi.org/10.2478/v10098-011-0003-y>

KOUTROULIS, A. G.; PAPADIMITRIOU, L. V.; GRILLAKIS, M. G.; TSANIS, I. K.; WARREN, R.; BETTS, R. A. Global water availability under high-end climate change: A vulnerability based assessment. **Global and Planetary Change**, v. 175, p. 52-63, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.01.013>

LIMA, E. P.; ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; BOF, L. H. N. Temporal-spatial control of the difference between precipitation and evapotranspiration in Paracatu sub-basins. **AERS**, 2019. <https://doi.org/10.22161/ijaers.6.6.70>

LISBOA, L.; DAVID, D.; MOREIRA, M. C.; SILVA, A. D. J.; ULIANA, E. M. Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do rio Piracicaba (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 929-937, 2019.

LOPES, T. R.; PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí. **Irriga**, v. 21, p. 188-201, 2016

MANN, H. B. 1945. Nonparametric Tests against Trend. **Econometrica**, v. 13, p. 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>

MEDIERO, L.; KJELDSSEN, T. R.; MACDONALD, N.; KOHNOVA, S.; MERZ, B.; VOROGUSHYN, S.; WILSON, D.; PERDIGÃO, R. A. P.; ROALD, L. A.; SALINAS, J. L.; TOUMAZIS, A. D.; LANG, M.; MADSEN, H.; ONUS, G. Identification of coherent flood regions across Europe by using the longest streamflow records. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 341-360, 2015.

MEHDIZADEH, S.; FATHIAN, F.; SAFARI, M. J. S. Comparative assessment of time series and artificial intelligence models to estimate monthly streamflow: a local and external data analysis approach. **Journal of Hydrology**, v. 579, p. 124225, 2019.

MENDES, N. G. DE S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Forest coverage and streamflow of watersheds in the tropical Atlantic rainforest. **Revista Arvore**, v. 42, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200004>

MELEDE, D. A.; AGUMASSIE, T. A.; KOSGEI, J. R.; LINH, N. T. T.; ANDUALEM, T. G. Analysis of rainfall and streamflow trend and variability over Birr River watershed, Abbay basin, Ethiopia. **Environmental Challenges**, v. 7, 100528, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100528>

MELLO, K.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; SANTOS, A. C. A.; VETTORAZZI, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. **CATENA**, v. 167, p. 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027>

MENDES, N. G. DE S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Forest coverage and streamflow of watersheds in the tropical Atlantic rainforest. **Revista Arvore**, v. 42, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200004>



MFWANGO, L. H.; AYENEW, T.; MAHOO, H. F. Impacts of climate and land use/cover changes on streamflow at Kibungo sub-catchment, Tanzania. **Heliyon**, v. 8, n. 11, e11285, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11285>

MOGHIMI, M. M., ZAREI, A. R. & MAHMOUDI, M. R. Seasonal drought forecasting in arid regions, using different time series models and RDI index. **Journal of Water and Climate Change**, v.11, n.3, p. 633–654, 2020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.009>

OLIVEIRA, V. A.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; SRINIVASAN, R. land-use change impacts on the hydrology of the upper Grande river basin, Brazil. **Cerne**, v. 24, n. 4, p. 334-343, 2018.

OVALLE, R. R. C.; SILVA, C. F.; REZENDE, C. E.; GATTS, C. E. N.; SUZIKI, M. S.; FIGUEIREDO, R. O. Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 481, n. 25, p. 191-203, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.036>

PAIVA, A. C. E.; NASCIMENTO, N.; RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J.; CARRIELLO, F.; DE REZENDE, F. S. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 720, 137509, 2020. 137509. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137509>

POHLERT, T. 2020. Non-parametric trend tests, and change-point detection.

PATAKAMURIS, O'BRIEN N. **modifiedmk**: Modified Versions of Mann Kendall and Spearman's Rho Trend Tests\_. R package version 1.6, 2021 <<https://CRAN.R-project.org/package=modifiedmk>>.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; RODRIGUEZ, R. G.; Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 52–71, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.005>

NEWMANN, A. L.; SNAPP, R. R. **Beef cattle**. 7. ed. New York: John Willey, p. 883, 1977.

R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>

RAO, N. K. Analysis of surface runoff potential in ungauged basin using basin parameters and SCS-CN method. **Applied Water Science**, v. 10, n. 47, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1129-z>

RAPALO, L. M. C.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; RIBEIRO, C. B. M.; CRUZ, I. F.; PEREIRA, D. R. Effects of land-use and -cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of hydrology: regional studies**, V.38, 100934, 2021.

RUHI, Albert; MESSEGER, Mathis L.; OLDEN, Julian D. Tracking the pulse of the Earth's fresh waters. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 4, p. 198–203, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0047-7>

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 64-73, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>

SANCHES, F. O., VERDUM, R., FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água**, v. 8, n.3, p. 214-228. 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1168>

SHAHID, S. Trends in extreme rainfall events of Bangladesh. **Theoretical & Applied Climatology**, v. 104, n. 3-4, p. 489-499, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0363-y>

SERRANO, L. O.; RIBEIRO, R. B.; BORGES, A. C.; PRUSKI, F. F. Low-Flow Seasonality and Effects on Water Availability throughout the River Network. **Water Resources Management**, v. 34, p. 1289-1304, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02499-3>

SILVA, J. R. **Denominações indígenas na toponímia carioca**. Rio de Janeiro: Livraria Brasileira Editora, p. 314, 1965.

SILVA, M. N. População de plantas e adubação de nitrogenada em algodoeiro herbáceo irrigado. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará**, 52 f, 2001.

SisCAH1.0.(2014) Universidade Federal de Viçosa. **Softwares**. Disponível em:<<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>.

SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; PEREIRA-JÚNIOR, E. R.; BODAS, P. M. T.; MINIZ-JUNIOR, J. G. R.; LYRA, G. B.; ZERI, M. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: Trends, statistical tests and its relation with ENSO. **Atmospheric research**, v. 220, p. 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.003>

SOUSA, E. P.; BRAGA, C. C.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. B.; SOUSA, F. A. S.; SANSIGOLO, C. A.; GALVÍNCIO, J. D. Padrões climáticos de eventos extremos de chuva utilizando análise multivariada e de ondeletas no Estado de Minas Gerais. **Pós-graduação em Meteorologia (Doutorado em Meteorologia)**. Universidade Federal de Campina Grande 2016.

SOUZA JR, SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PETERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIEIRA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, SOLTAN.; MESQUISA, V. V.; AZEVEDO, T.; Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

STOCKER, T. Climate change 2013: the physical science basis: **Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge university press, 2014. <https://10.1017/CBO9781107415324>

TADESE, M.T.; KUMAR, L.; KOECH, R.; ZEMADIM, B. Hydro-climatic variability: a characterization and trend study of the Awash River Basin, Ethiopia. **Hydrology** 6, 35. 2019. <https://doi.org/10.3390/hydrology6020035>

VILLARINI, G.; SMITH, J. A.; NTELEKOS, A. A.; SCHWARZ, U. Annual maximum and peaks-over-threshold analyses of daily rainfall accumulations for Austria. **Journal of Geophysical Research: atmospheres** (online), v. 116, n. D5, 2011. <https://www.doi.org/10.1029/2010JD015038>

WEHNER, Michael. Methods of projecting future changes in extremes. Extremes in a changing climate: detection, analysis and uncertainty. **Water Science and Technology Library**, v. 65, p. 223-237, 2013. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4479-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4479-0_8)

WEI, T.; SIMKO, V. R package '**corrplot**': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.92), 2021. Available from <https://github.com/taiyun/corrplot>

WOLFF, W.; DUARTE, S.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 21–33, 2014.

XAVIER, D. F.; CARVALHO, M. M.; BOTREL, M. A. Resposta de *Cratylia argentea* à aplicação em um solo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 01, p. 14-18, 1997.

ZALOKAR, L.; KOBOLD, M.; SRAJ, M. Investigation of Spatial and Temporal Variability of Hydrological Drought in Slovenia Using the Standardised Streamflow Index (SSI). **Water**, v. 13, n. 22, 3197, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13223197>

ZHANG, X.; CONG, Z. Trends of precipitation intensity and frequency in hydrological regions of China from 1956 to 2005. **Global and Planetary Change**, v. 117, p. 40-51, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.03.002>

ZHAO, J; HUANG, Q.; CHANG, J; LIU, D.; HUANG, S.; SHI, X. Analysis of temporal and spatial trends of hydro-climatic variables in the Wei River Basin. **Environmental Research**, v. 139, p. 55-64, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.028>