

Análise das séries temporais de uso e ocupação da terra em Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia do Rio Paraíba

Analysis of time series of land use and occupation in Permanent Preservation Areas (PPA) of the Paraíba River Basin

Madson Tavares Silva *, Ayrton Flavio Nascimento de Sousa **, Lorena Rayssa Cunha França ***, Mateus Clemente de Lacerda ****

* Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, madson.tavares@professor.ufcg.edu.br

** Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, ayrtonflavions@gmail.com

*** Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, lorenarayssacf@gmail.com

**** Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, mateus.clemente@outlook.com

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v58i0.89885>

Resumo

É imprescindível entender que qualquer alteração causada nas áreas ciliares das bacias hidrográficas provoca mudanças diretamente na dinâmica dos rios, lagos, áreas urbanas com os elementos de fluxo de energia, material dissolvido e sedimentos. Assim, para melhor planejamento, gestão e proteção dos recursos naturais existentes nas áreas de uma bacia hidrográfica, faz-se necessário conhecer as características dos cursos d'água, vegetação e uso e ocupação da terra. O presente trabalho tem como objetivo analisar a série temporal dos dados de uso e ocupação da terra em Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, segundo os preceitos do Código Florestal brasileiro e com auxílio das ferramentas de geoprocessamento e das metodologias estatísticas do Teste de Pettitt e Teste de Mann-Kendall. O teste Pettitt apresentou uma mudança temporal na média de cobertura natural a partir do ano de 2007, com aumento de 4,2%. A partir do teste de Mann-Kendall, notou-se que houve tendência de decréscimo das matas ciliares em 36,72% das APPs analisadas, superior à área que apresentou crescimento, demonstrando maior degradação das matas ciliares no período de 1985 a 2006, principalmente nas regiões do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba. Para o período de 2006 a 2020, há mudança significativa nas áreas com tendência de crescimento de coberturas naturais (28,31%), incremento de 12,5% se comparado ao período anterior.

Palavras-chave:

Matas ciliares, Teste de Pettitt, Teste de Mann-Kendall, Código florestal.

Abstract

It is essential to understand that any alteration caused in the riparian areas of hydrographic basins directly causes changes in the dynamics of rivers, lakes, urban areas with the elements of energy flow, dissolved material and sediments. Thus, for better planning, management and protection of existing natural resources in the areas of a watershed, it is necessary to know the characteristics of water courses, vegetation and land use and occupation. The present work aims to analyze the time series of land use and occupation data in Permanent Preservation Areas (PPA) in the Paraíba River Basin, according to the precepts of the Brazilian Forest Code and with the aid of geoprocessing tools and methodologies Pettitt Test and Mann-Kendall Test statistics. The Pettitt test showed a temporal change in the average natural coverage starting in 2007, with an increase of 4.2%. Based on the Mann-Kendall test, it was noted that there was a tendency of 36.72% to decrease riparian forests in PPAs, higher than the growth, demonstrating greater degradation of riparian forest areas in the period from 1985 to 2006, mainly in regions of the Middle and Lower Course of the Paraíba River. For the period from 2006 to 2020, there is a significant change in areas with a tendency to increase natural coverage (28.31%), an increase of 12.5% compared to the previous period.

Keywords:

Riparian forests, Pettitt test, Mann-Kendall test, Forest code.

I. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas devem ser visualizadas como unidades de planejamento e gestão ambiental, devendo ter seus atributos ambientais analisados (LOPES, 2018). Para melhor planejamento, gestão e proteção dos recursos naturais existentes nestas unidades, faz-se necessário conhecer as características dos cursos d'água, clima, relevo, regime de precipitações, vegetação e uso e ocupação da terra.

A ocupação antrópica e suas atividades, quando não bem planejadas e sem a devida fiscalização, podem comprometer os recursos naturais das bacias hidrográficas. É evidente que a adoção de técnicas inadequadas nas atividades agropecuárias pode causar impactos como a degradação da qualidade da água dos corpos hídricos, contaminação dos solos e desmatamento das matas ciliares.

As matas ciliares possuem um papel importante nas bacias hidrográficas, pois são responsáveis pela redução da erosão e da velocidade das águas de inundações, recargas dos lençóis freáticos, redução da poluição das águas pela retenção de sedimentos e filtragem de fertilizantes e agrotóxicos, aumento da biodiversidade vegetal e animal (terrestre e aquática), entre outros (SILVA; NOBRE; CASTRO, 2019). É imprescindível entender que qualquer alteração causada nas áreas ciliares das bacias hidrográficas provoca mudanças diretamente na dinâmica dos rios, lagos, áreas urbanas com os elementos de fluxo de energia, material dissolvido e sedimentos (SILVA; CUNHA; KRINSKI, 2016).

De acordo com a Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que institui o Código Florestal, a mata ciliar pode ser definida como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

O uso e ocupação irregular da terra pode gerar problemas ambientais, levando ao desmatamento de vegetação nativa, bem como na perda de biodiversidade e degradação do ecossistema. A ausência de vegetação pode aumentar a erosão do solo e causar danos como o assoreamento dos rios e córregos, prejudicando a qualidade da água e potencializando a probabilidade de ocorrência de desastres naturais. Desse modo, os impactos negativos causados pelas ações irregulares de uso e ocupação da terra podem ser reduzidos a partir da promoção e implantação de Áreas de Preservação Permanente (APP) (LIMA; SANTANA; REIS, 2022; BRASIL, 2012).

Diante da importância da percepção dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica, como as matas ciliares, salienta-se a necessidade de que ocorra sua adequada caracterização e monitoramento. A análise destas pode ser realizada com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que amplia a obtenção de dados e informações de forma rápida e com precisão. Atualmente, os SIGs representam uma ferramenta útil para planejamento das ações de gestão de bacias hidrográficas, sendo diversas as aplicações do sensoriamento remoto, entre elas o monitoramento temporal da sua vegetação.

A estatística também é uma forte aliada das tecnologias SIGs, pois pode auxiliar de diversas formas na análise de dados temporais. Uma série temporal consiste no conjunto de observações ordenadas no tempo e que, através de sua análise, é possível obter a descrição do comportamento da série e verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais. São amplamente aplicadas em estudos para detecção de mudanças climáticas, alterações da precipitação, tendências de vazão de corpos hídricos, monitoramento da qualidade da água e análises do comportamento temporal da velocidade do vento, temperatura, entre outros.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a série temporal dos dados de uso e ocupação da terra em Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, segunda maior do estado da Paraíba, que possui como principais atividades econômicas a pecuária e a agricultura. Essa análise foi realizada com base nos preceitos do Código Florestal Brasileiro e com auxílio das ferramentas de geoprocessamento e das metodologias estatísticas do Teste de Pettitt e Teste de Mann-Kendall.

O estudo é relevante para diagnóstico situacional das APPs quanto ao uso e ocupação da terra na área de estudo e pode subsidiar ações do poder público na preservação das APPs, bem como direcionar tomadas de decisão a nível de bacia hidrográfica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

De modo a atingir o objetivo proposto para este trabalho, o estudo baseia-se em quatro etapas metodológicas apresentadas no fluxograma da Figura 1 e detalhadas neste item.

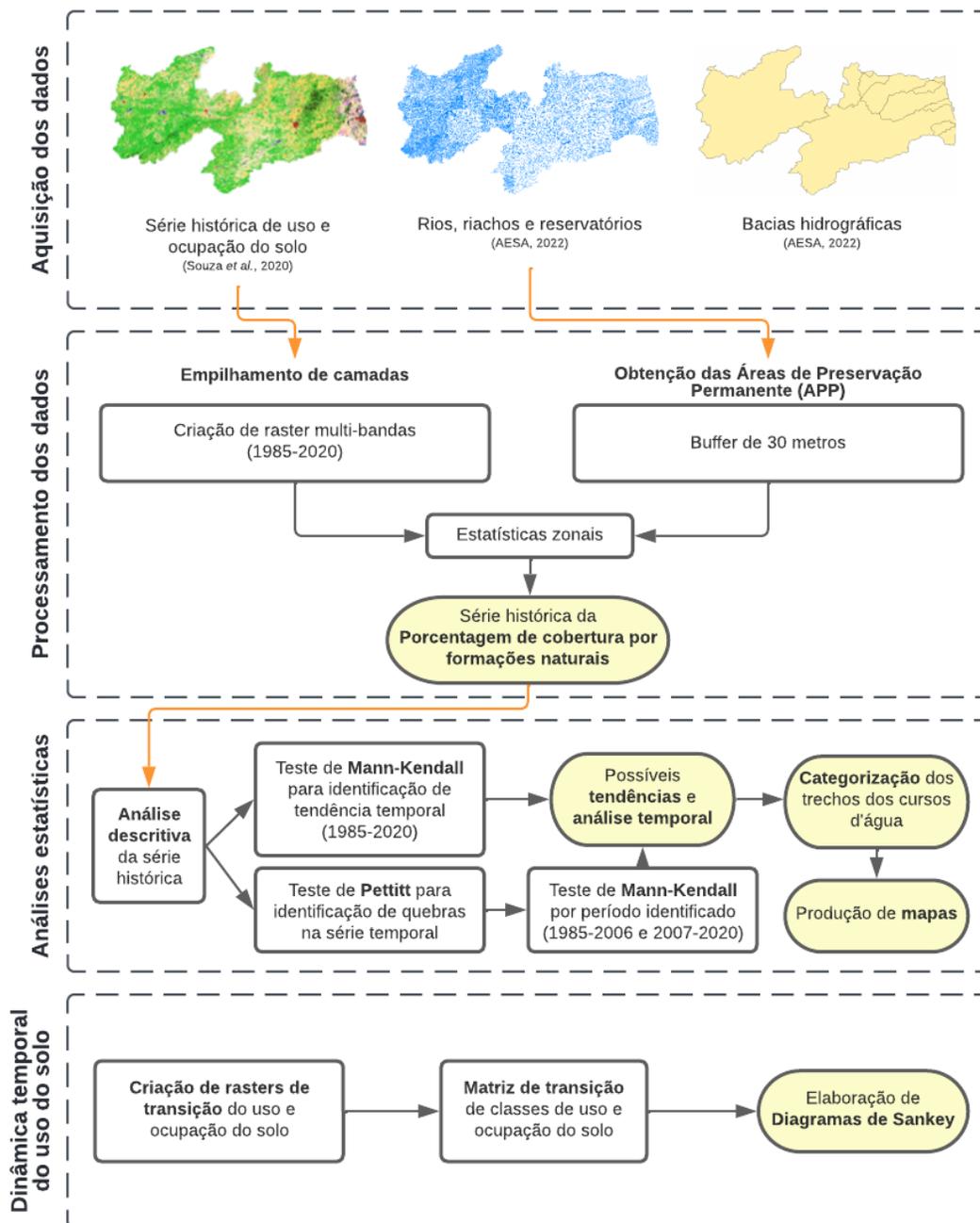


Figura 1 – Fluxograma metodológico. Fonte: Autoria própria (2022).

Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é a segunda maior do estado da Paraíba e possui densidade demográfica de 91,08 hab./km². Apresenta área de 20.071,83 Km², abrangendo 38,0% do território do estado e abriga 1.828.178 habitantes, que correspondem a 52% da população total da Paraíba. Ademais, na bacia estão inseridos 85 municípios, total ou parcialmente, entre eles João Pessoa, a capital, e Campina Grande, o segundo maior centro urbano do estado (CBH-PB, 2022).

Esta é considerada uma das maiores do semiárido nordestino e, como mostrado no mapa da Figura 2, é composta pelas sub-bacia do Rio Taperoá e regiões Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba. Além do Rio Paraíba, também estão dentro desta unidade o Rio Taperoá, Rio Boa Vista e Rio Umbuzeiro. Seus principais reservatórios são o Epitácio Pessoa e o Acauã, utilizados principalmente para abastecimento humano. Salienta-se que, conforme apresentado na Figura 2, o Eixo Leste da Transposição do Rio São Francisco contribui com a regularização da vazão do Rio Paraíba.

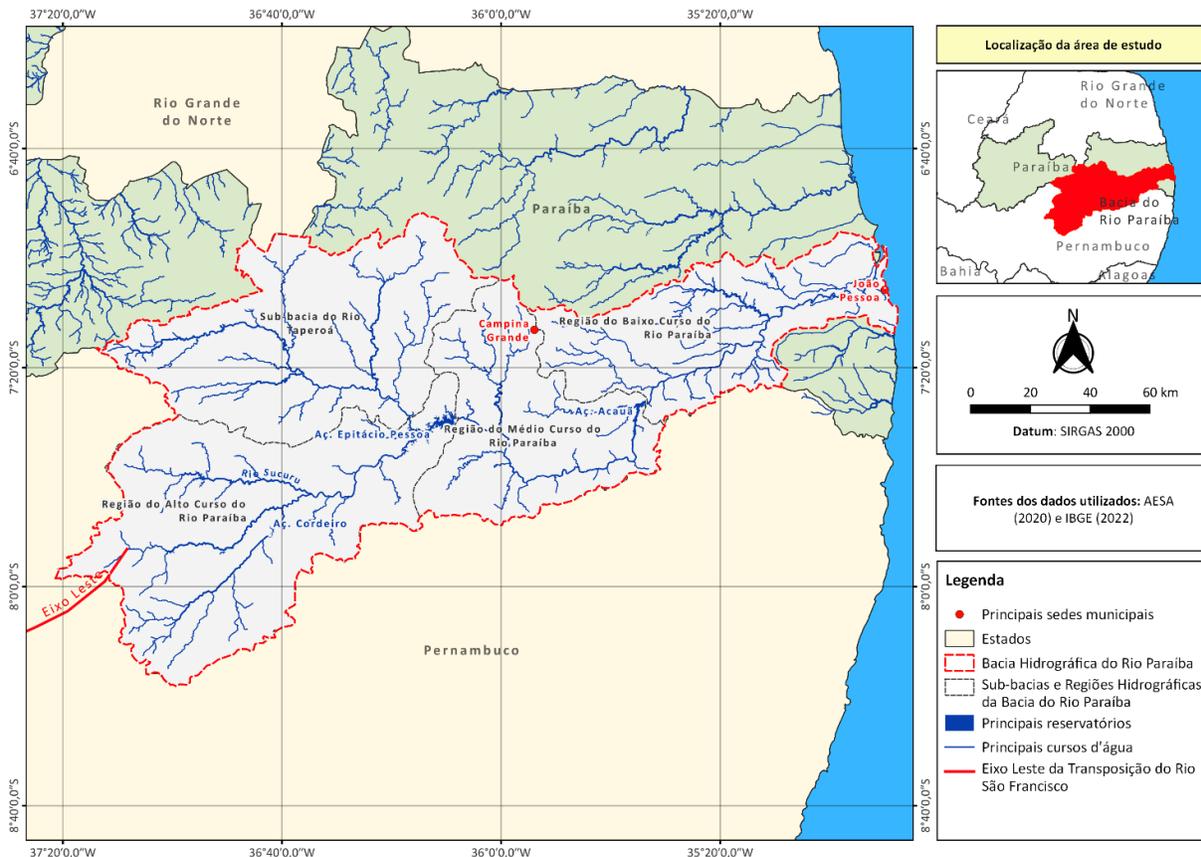


Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Fonte: Autoria própria (2022).

Segundo dados da AESA (2022), os biomas encontrados na bacia hidrográfica em estudo são a Caatinga e a Mata Atlântica, com ocupam 92,0% e 8,0% da área, respectivamente. No que diz respeito ao clima da região,

é considerado, a partir da classificação de Strahler, como tropical seco e possui pluviosidade irregular, com ocorrência de precipitações entre 250 e 1700 mm. Os principais usos da água na bacia do Rio Paraíba são o abastecimento público e de animais, pesca, irrigação e lazer.

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba é de grande importância para o setor agrícola e, conseqüentemente, para o desenvolvimento socioeconômico local e regional. É uma região marcada pela prática das atividades da pecuária e agricultura, que resultam na vulnerabilidade dos recursos naturais. Os principais conflitos, indicados pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (CBH-PB) (2022), são a contaminação das águas, o esgotamento da capacidade produtiva do solo, erosão generalizada, escassez hídrica e a degradação das matas ciliares.

Aquisição dos dados

Para a observação da série temporal de ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APP) em margens dos cursos d'água, foram utilizados dados de uso e ocupação da terra da coleção 6 publicada pela plataforma MapBiomas (2021), acessada através da ferramenta Google Earth Engine, que disponibiliza catálogos diversos de imagens de satélites junto a um conjunto de dados geoespaciais que permitem análises em escala planetária.

O projeto MapBiomas – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil é uma iniciativa do Observatório do Clima, sustentada por uma rede de instituições que envolve universidades, organizações não-governamentais e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território, o que permite uma análise histórica da dinâmica de evolução do uso e ocupação da terra em todo o território nacional (MapBiomas, 2022).

Os dados publicados no MapBiomas (2022) apresentam 25 classes de uso e ocupação da terra divididas em seis categorias: Floresta; Formação natural não florestal; Agropecuária; Área não vegetada; Corpos d'água; e, não observado. Salienta-se que as categorias Floresta e Formação natural não florestal são consideradas coberturas naturais. No desenvolvimento deste estudo utilizou-se toda a série histórica de dados matriciais provenientes da coleção 6 do MapBiomas (1985 – 2020), que possui resolução de 30 metros, produzida a partir da classificação de imagens do satélite Landsat-8 pelo algoritmo *Random Forest*, como observado na Figura 3.

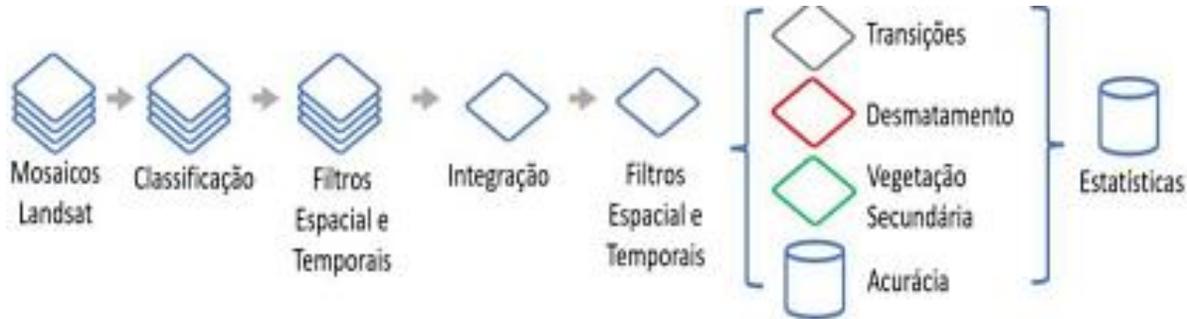


Figura 3 – Procedimento metodológico para classificação de imagens satélites no MapBiomas. Fonte: MapBiomas (2021).

Também foram utilizados dados de bacias hidrográficas, reservatórios, rios e riachos do estado no processamento dos dados e na produção de mapas. Estes dados foram adquiridos através de bases de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022) e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2022).

Processamento dos dados

Após a aquisição dos dados necessários, realizou-se o tratamento destes com o objetivo de delimitar a área de estudo e de transformá-los em um formato compatível aos *softwares* de análise estatística. Para tanto, fez-se o uso de operações em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio do QGIS 3.22, e de funções disponíveis em *softwares* de edição de planilhas, como o Microsoft Excel.

De acordo com o Código Florestal, instituído pela Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), as faixas às margens de rios e córregos são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP) e sua extensão deve ser determinada a partir da largura do corpo hídrico, variando de 30 a 500 metros para cada lado. Em razão da inexistência de dados georreferenciados de Áreas de Preservação Permanente (APP) para a Bacia do Rio Paraíba, as APPs foram geradas a partir das *shapefiles* de reservatórios de acumulação, rios e riachos localizados dentro dos limites da bacia hidrográfica.

Utilizou-se a operação de *buffer* disponível no SIG para a criação das faixas de APPs da bacia hidrográfica em 30 metros. Tendo em vista que a maioria dos rios analisados são classificados como intermitentes ou possuem o seu leito regular com menos de 10 metros de largura, o eixo central dos rios e riachos foi utilizado como referência para o *buffer*. Vale ressaltar que a determinação das APPs a partir do eixo central dos cursos não influencia na análise estatística realizada, uma vez que a dimensão do *pixel* dos dados *raster* disponíveis no MapBiomas é maior que o maior leito regular encontrado na bacia hidrográfica em estudo.

Em seguida, para simplificar a manipulação subsequente, os dados matriciais obtidos na plataforma MapBiomas foram empilhados em uma única camada *raster* multibandas, onde cada banda representava a

classificação de uso e ocupação da terra em um ano da série histórica utilizada (1985-2020), através da função de criação de *rasters* virtuais.

Por fim, as camadas geradas foram submetidas à função de Estatísticas Zonais que realizou um recorte dos dados matriciais de uso do solo para a área de estudo, quantificando o número de células de cada uma das classes de ocupação do solo monitoradas pelo MapBiomas dentro as APPs. O resultado do processo foi exportado em formato de planilhas, onde a porcentagem de cobertura do solo por formações naturais, considerando os níveis Florestal e Formação natural não florestal, foi calculada para cada um dos trechos dos cursos d'água.

Análises estatísticas

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva da série histórica de cobertura do solo por formações naturais nas APPs, obtida na etapa anterior. A análise descritiva é a primeira manipulação realizada em estudos quantitativos de séries temporais e tem como um dos principais objetivos entender a série histórica através de gráficos e tabelas que resumam o comportamento dos dados estudados. Neste estudo, a estatística descritiva dos dados foi realizada através do *software* XLSTAT 2022.

A tendência temporal da série histórica de cobertura do solo por formações naturais foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), considerando um nível de significância igual a 5%. Proposto por Mann (1945) e alterado por Kendall (1975), o teste de Mann-Kendall consiste na comparação dos valores de uma série temporal ao longo do tempo com os seus valores posteriores, onde é computado o número de vezes em que os termos seguintes são maiores do que aquele que está sendo analisado, resultando na estatística S.

Na realização dos testes de Mann-Kendall foi utilizado o *software* estatístico RStudio, que possibilita um processamento em lotes, devido à grande quantidade de trechos de cursos d'água analisados. A princípio, o teste foi realizado para toda a série histórica obtida na coleção 6 do MapBiomas (1985-2020). Entretanto, por abranger um longo período de 36 anos, buscou-se analisar a ocorrência de mudanças de tendência dos dados dentro do intervalo observado.

O teste de Pettitt (1979) é utilizado para verificar a existência de quebras bruscas em séries temporais, causadas pela mudança de tendência no período analisado. Com a aplicação do teste é possível indicar se amostras oriundas da mesma série temporal são pertencentes à mesma população e identificar o ponto onde ocorre a ruptura temporal. A identificação deste ponto de quebra é fundamental para a realização de análises de tendência temporal em frações da série histórica e influencia diretamente nos resultados obtidos e na

discussão do problema analisado. O teste foi aplicado através do *software* XLSTAT 2022, adotando um nível de significância de 5%.

A partir da identificação dos resultados gerados pelo teste de Pettitt, a série histórica foi dividida em dois períodos delimitados pelo ponto de quebra na tendência temporal dos dados, sob os quais foi novamente aplicado o teste de Mann-Kendall através do RStudio. As estatísticas oriundas do teste foram exportadas para o Microsoft Excel, onde a interpretação dos dados para os 2.304 trechos de APPs foi realizada de forma automática, segundo as hipóteses e categorias de tendência temporal apresentadas no Quadro 1.

Com o intuito de adicionar a componente espacial às análises estatísticas realizadas e facilitar a visualização dos resultados obtidos no território, foram elaborados mapas de tendência temporal para os três períodos apresentados. Para a produção desses mapas no QGIS, relacionou-se as categorias de tendência obtidas em cada um dos trechos com a camada vetorial de APPs, através da união das informações presentes na planilha de dados.

Quadro 1 – Apresentação das hipóteses do teste e das categorias de tendência temporal

Hipóteses	p-valor	Estatística S	Categorias de tendência
Não possui tendência temporal estatisticamente significativa	> 0,05	-	Não há tendência temporal
Possui tendência temporal estatisticamente significativa	< 0,05	> 0	Tendência de crescimento
		< 0	Tendência de decrescimento

Fonte: Autoria própria (2022).

Análise da dinâmica temporal do uso e ocupação da terra

O estudo da dinâmica temporal entre as classes de cobertura do solo da área de estudo foi realizado a fim de identificar as atividades antrópicas que tiveram maior influência nas mudanças de classes observadas entre os anos inicial e final dos períodos analisados. Para tal finalidade, foram criadas camadas matriciais de transição de classes de uso e ocupação da terra para os dois períodos (1985-2006 e 2007-2020).

Através da função calculadora de raster do QGIS 3.22, os valores dos pixels dos anos inicial e final dos períodos foram somados de modo que os dois primeiros e os dois últimos dígitos da camada resultante representassem as classes de uso e ocupação da terra nos anos inicial e final do período analisado, respectivamente. Posteriormente, elaborou-se um histograma dos dados de transição que foi exportado em formato de planilha Excel, onde foi possível produzir uma matriz de transição para identificar os fluxos entre as

classes de uso do solo durante o período analisado. Os fluxos foram apresentados através de Diagramas de Sankey, indicados para facilitar a visualização.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizada a estatística descritiva para os dados anuais de cobertura por formações naturais, considerando os níveis Florestal e Formação natural não florestal, nas áreas de proteção permanente da Bacia do Rio Paraíba. O boxplot apresentado na Figura 4 a seguir, demonstra uma distribuição simétrica dos dados, a média e a mediana possuem uma diferença de apenas 0,2% e amplitude de 14,7%, o que representa baixa variação dos dados estudados.

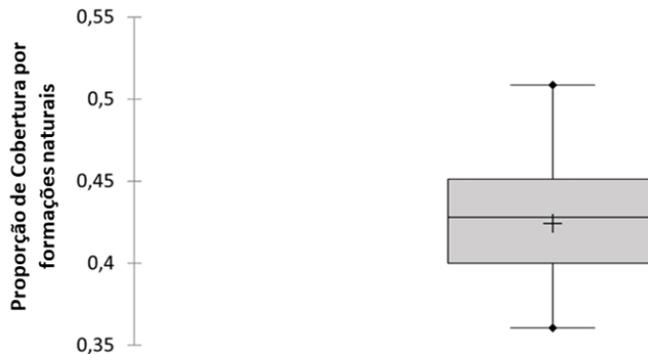


Figura 4 – Boxplot da Série histórica de cobertura por formações naturais nas APPs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Fonte: Autoria própria (2022).

O valor máximo de porcentagem de cobertura apresentado foi para o ano de 2019, 50,8% e o valor mínimo para 1998, com o valor de 36,1%. O intervalo interquartil para a série de dados estudada foi de 5,1%. A variância para os dados da série histórica foi de 0,1% e o desvio padrão de 3,7%, demonstrando que os valores do conjunto estão aglomerados com proximidade uns dos outros. Por conseguinte, foi realizado o Teste de Mann-Kendall para a série temporal estudada, em cada um dos 2.304 trechos de rio, e espacializou-se os resultados no mapa da Figura 5.

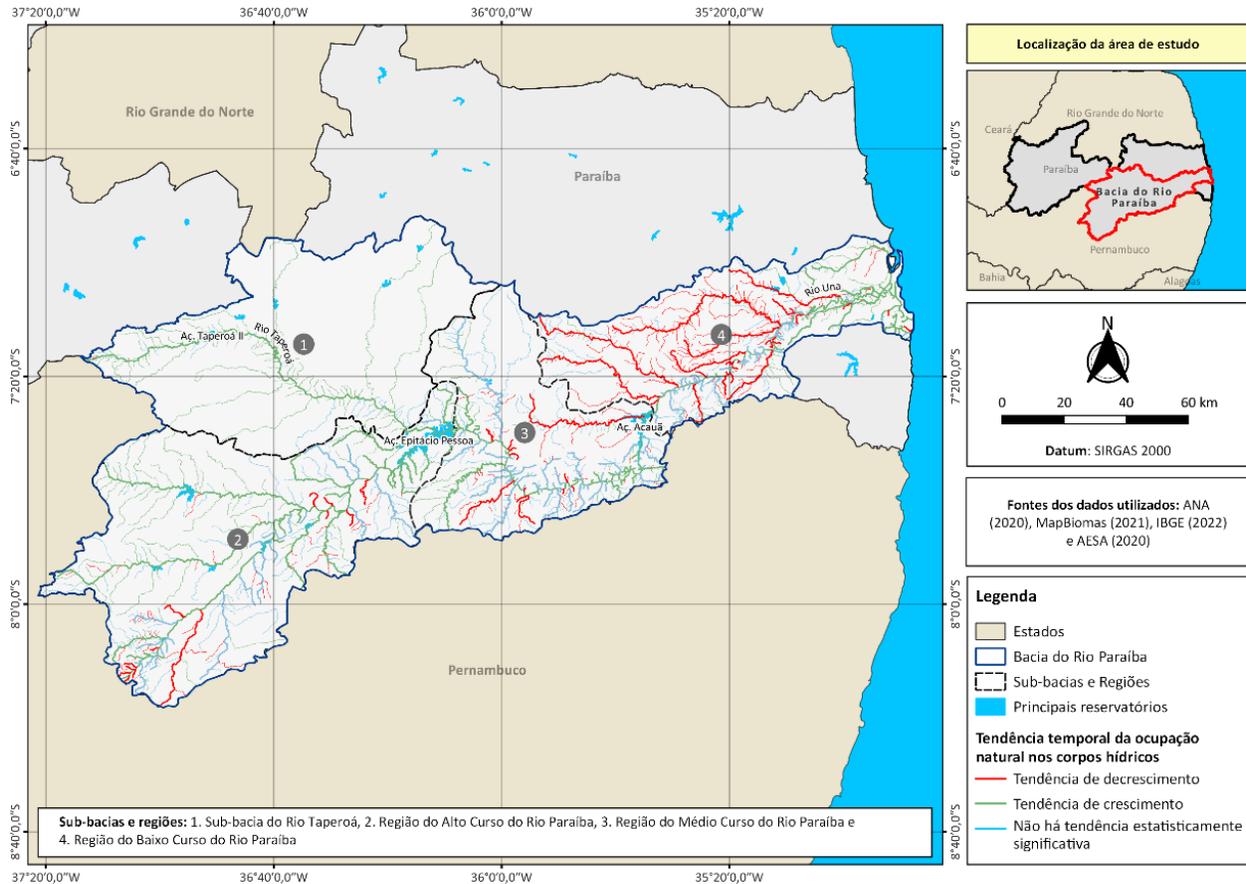


Figura 5 – Mapa de tendência da cobertura natural nas áreas de preservação permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – 1985 a 2020. Fonte: Autoria própria (2022).

O mapa apresenta tendência de crescimento (p -valor $< 0,05$ e estatística $S > 0$) em 44,05% das áreas de preservação permanente analisadas e tendência de decréscimo (p -valor $< 0,05$ e estatística $S < 0$) em apenas 21,53%, concentradas principalmente na Região do Baixo Curso do Rio Paraíba. Moraes *et al.* (2021) indica que a degradação ambiental nas APPs do Rio Paraíba, no município de Itabaiana/PB, se dá pela ausência de fiscalização por parte dos órgãos públicos, bem como, pela falta de conscientização da população, que além de ocupar essas áreas de forma indevida, explora essa área por vezes de forma inadequada para fins lucrativos.

Em seguida, foi realizado o teste Pettitt, disponível na Figura 6, que apresentou uma mudança temporal na média de cobertura natural a partir do ano de 2007, com aumento de 4,2% na média para os anos de 2007 a 2020 (45,0%) em relação ao período de 1985 a 2006. A quebra temporal nos dados indica que o Teste de Mann-Kendall é mais representativo quando se analisa a série para os dois períodos apresentados.

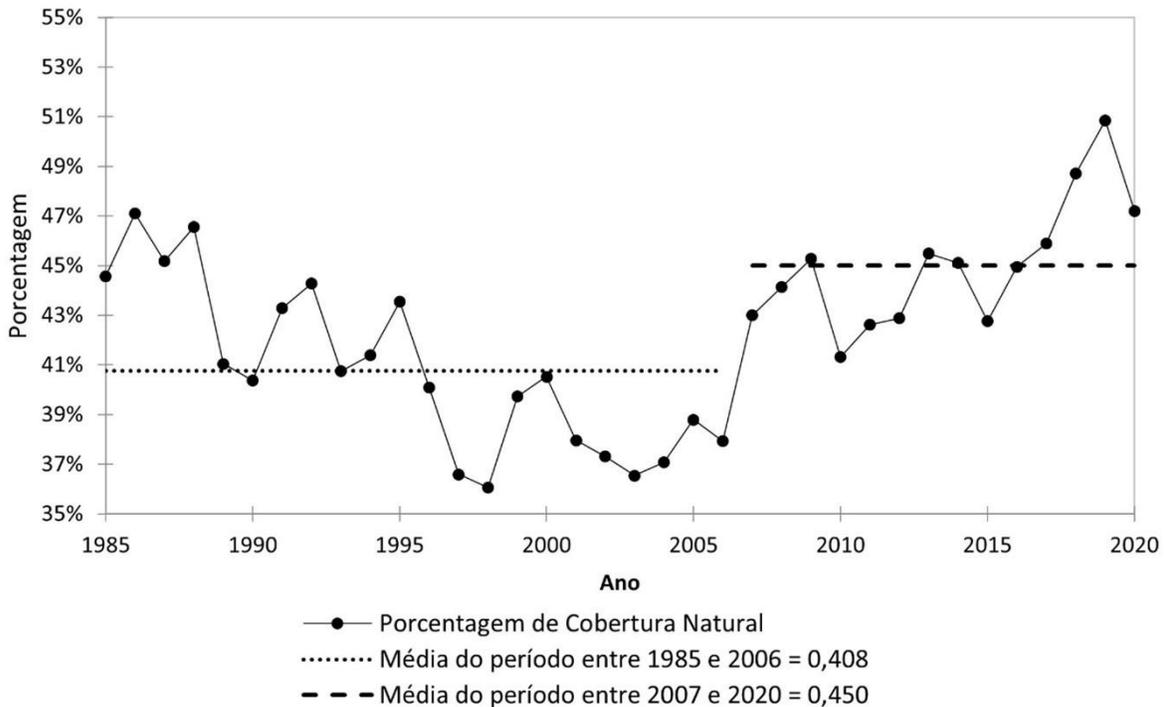


Figura 6 – Teste de Pettitt para a série temporal de porcentagem de cobertura natural nas áreas de preservação permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Fonte: Autoria própria (2022).

Essa mudança na série temporal se deu no mesmo ano que houve a criação do comitê da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, por meio do Decreto nº 27.560, de 04 de setembro de 2006. O artigo 3º do Regime Interno do CBH-PB (2011) define as finalidades do Comitê, dentre elas, nos parágrafos VI e IX, compatibilizar o gerenciamento dos recursos hídricos, priorizando à preservação e conservação do meio ambiente, inclusive das matas ciliares na área em estudo, bem como estimular e propor a proteção e a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente contra ações que possam comprometer o uso múltiplo atual e futuro.

Carmo Jr. (2021) faz uma análise da atuação do CBH-PB, a partir das reuniões colegiadas do comitê no período de 2007 a 2020 e um dos temas abordados nas reuniões desse período foi relacionado à degradação ambiental nas margens do Rio Paraíba causadas por ações antrópicas. A atenção voltada às áreas de matas ciliares corrobora com a tendência de crescimento notada na Figura 6, principalmente no período de 2015 a 2019, que apresentou recuperação de 8,1% de áreas de cobertura por formações naturais na bacia hidrográfica.

Em simultâneo, a aprovação no congresso nacional das obras de transposição do Rio São Francisco influenciou diretamente na preservação das APPs da área em estudo, visto que o Estudo de Impacto Ambiental e o Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA (2004) preveem a recuperação e preservação das matas ciliares, por meio do Programa de Revitalização de áreas degradadas e, ainda, o incentivo à conservação e valorização da Caatinga, através do Programa de Educação Ambiental que visa a conscientização da população quanto às

ações para preservação dessas áreas. Salieta-se que, os Projetos de Integração de Bacias Hidrográficas – PIBHI tem como prioridade a recomposição de matas ciliares e o saneamento básico nas áreas das bacias hidrográficas.

Após o teste de Pettitt, a fim de compreender o comportamento estatístico dos períodos de 1985 a 2006 e 2007 a 2020, foi realizado novamente o teste de Mann-Kendall para analisar a possibilidade de tendências estatisticamente significativas de decréscimo ou crescimento das áreas com cobertura natural para as APPs de toda a bacia do Rio Paraíba e foram espacializados nos mapas das Figura 7 e Figura 8. França *et al.* (2021) utilizou o teste estatístico de Mann-Kendall que indicou a redução de áreas com coberturas naturais na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco no período de 2001 a 2013, com transições relevantes dos tipos “Floresta para Pastagem”, “Savana arborizada para Pastagem” e “Terras agrícolas para Pastagem”.

O mapa da Figura 7 apresenta a tendência temporal da ocupação natural, no período de 1985 a 2006, nas APPs dos corpos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, divididos em sub-bacias e regiões. Para o período estudado, nota-se que houve tendência de crescimento das matas ciliares nas APPs em apenas 16,65% da área de toda Bacia Hidrográfica, como pode ser observado no mapa, a maior concentração dessas áreas, representadas na cor verde, é na sub-bacia do Rio Taperoá, que possui menor densidade de drenagem, se comparada às demais regiões. Lima (2017) afirma que a área urbana e a densidade demográfica da sub-bacia do Rio Taperoá têm baixa relação com a sua vegetação, inferindo a baixa interferência da ação antrópica nas áreas de mata nativa.

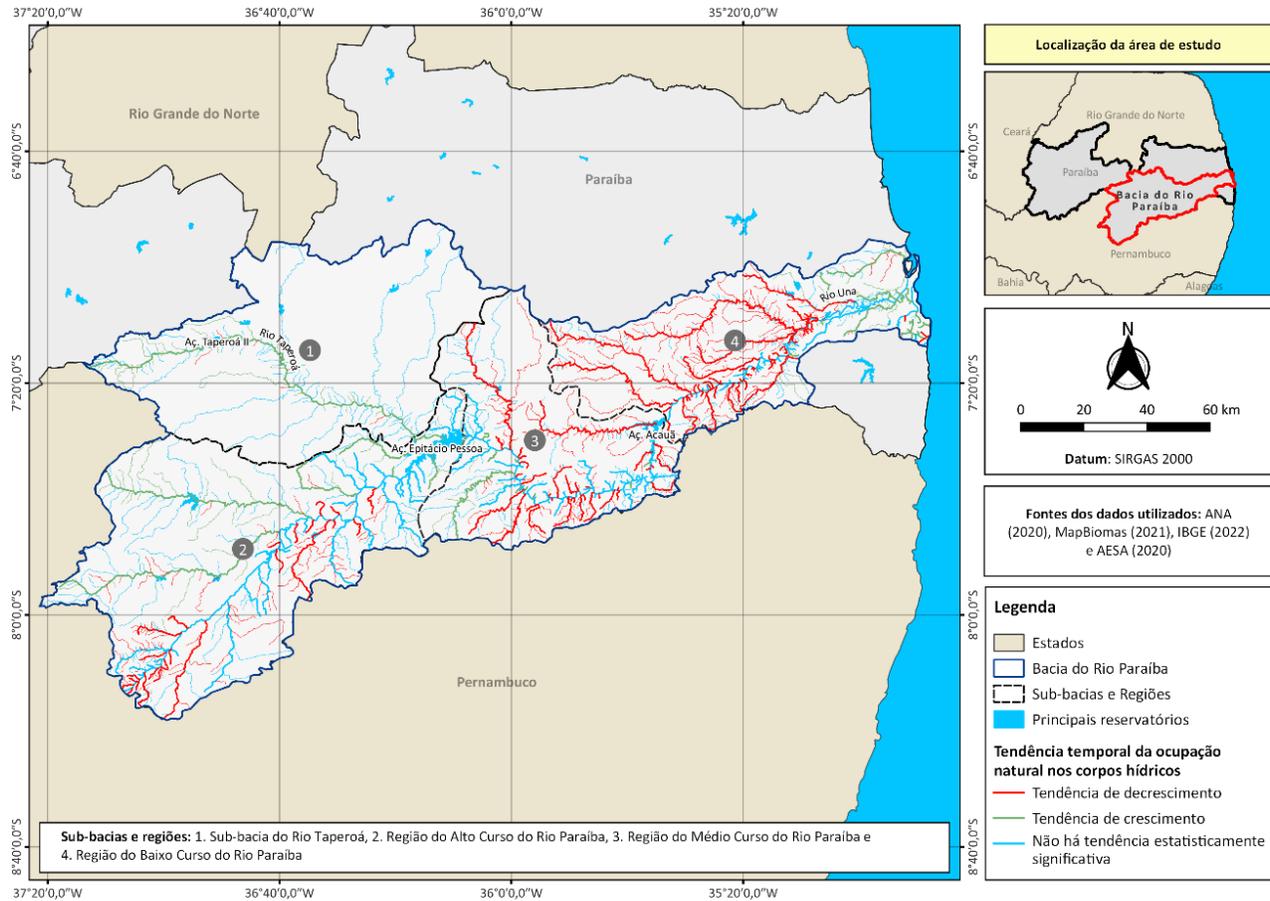


Figura 7 – Mapa de tendência da cobertura natural nas áreas de preservação permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – 1985 a 2006. Fonte: Autoria própria (2022).

As áreas sem tendência estatisticamente significativa, quando o p-valor foi maior que 0,05, representaram 46,63% do total da bacia hidrográfica e a Região do Alto Curso do Rio Paraíba apresentou maior concentração dessas áreas. Quanto às áreas da bacia hidrográfica com tendência de decréscimo, a porcentagem foi de 36,72%, superior às que apresentaram crescimento, demonstrando maior degradação das áreas de matas ciliares no período de 1985 a 2006, principalmente nas regiões do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba, que abrangem os municípios de Campina Grande e João Pessoa, com maiores densidades demográficas, se comparado às demais regiões.

De modo semelhante, foi elaborado o mapa de tendências para o período de 2007 a 2020, apresentado na Figura 8. Para esse período, há mudança significativa nas áreas com tendência de crescimento de coberturas naturais (28,31%), incremento de 12,5% se comparado ao período anterior. Houve também uma redução de 20% nas áreas com tendência de decréscimo (28,31%) em relação aos anos de 1985 a 2006.

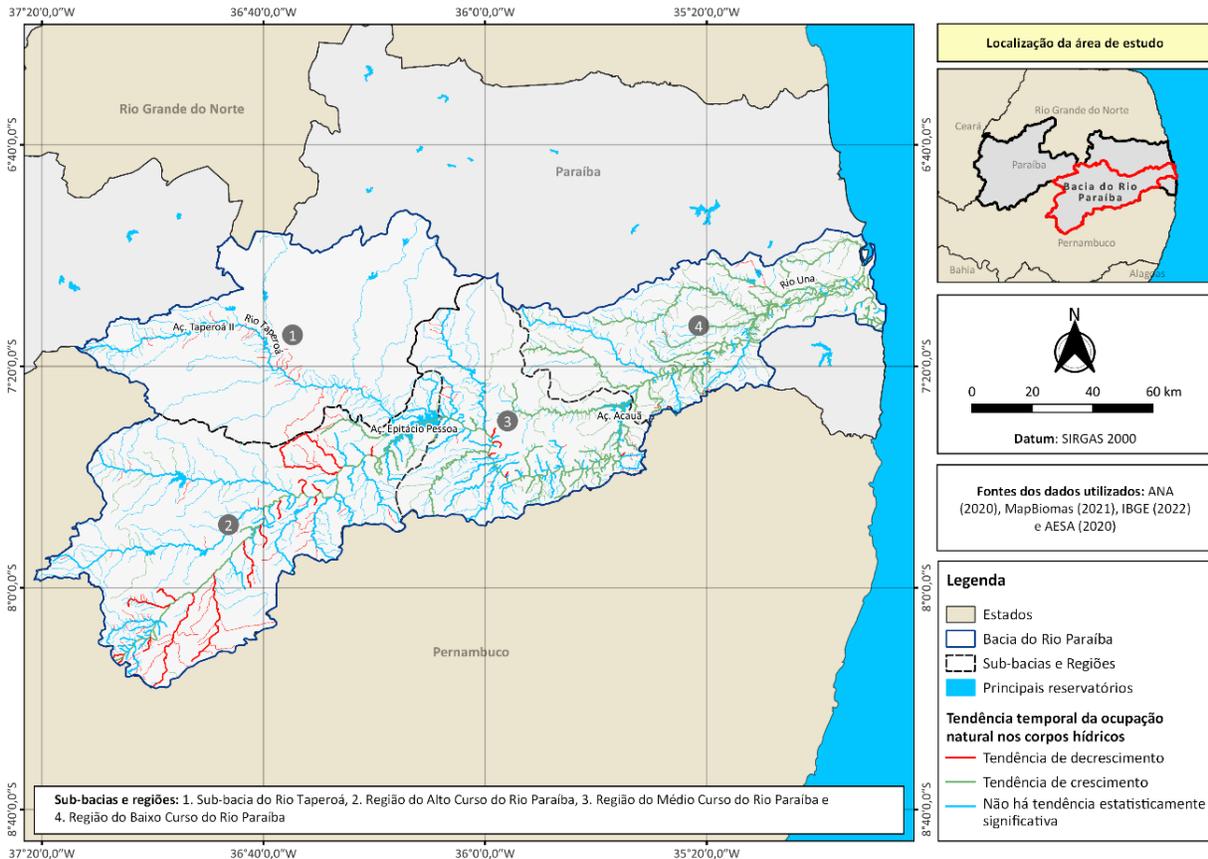


Figura 8 – Mapa de tendência da cobertura natural nas áreas de preservação permanente (APPs) da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – 2007 a 2020. Fonte: Autoria própria (2022).

As mudanças mais notórias, se comparado os dois períodos estudados, como pode ser visto no mapa da Figura 8, se deu nas áreas do Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba, poucos trechos apresentaram tendência de decréscimo. Essa recuperação de áreas degradadas demonstra efetividade nas ações previstas no EIA/RIMA (2004) como a cobertura das laterais das escavações com espécies nativas da região, de modo a reter a terra e revitalizar as áreas de matas ciliares. Dados do Portal da Transparência indicaram o despendimento de mais de 3,3 milhões de reais na revitalização, recuperação e preservação das bacias do São Francisco e integradas do Nordeste, no período de 2005 a 2009 (CASTRO, 2011).

Entretanto, Resende e Santos (2019) afirma que o EIA/RIMA não abrangeu totalmente os problemas que foram gerados pela transposição do Rio São Francisco, havendo falta de medidas ou medidas falhas em diversas áreas de preservação, além de incluir menos impactos do que causará. Desse modo, a tendência de crescimento de cobertura por formações naturais nas APPs não pode ser totalmente atribuída às ações associadas a transposição do Rio São Francisco.

A revitalização das matas ciliares é uma das finalidades do CBH-PB, a partir de ações conjuntas do poder público com a sociedade. Salienta-se que para a boa gestão coletiva dos recursos hídricos e das áreas de

preservação permanente das bacias hidrográficas, há a necessidade da participação popular como também a participação dos entes públicos correlacionados, a fim de melhorar a efetividade das ações de forma direta e indireta (CARMO JÚNIOR, 2021).

Após a análise estatística, foram elaborados os diagramas de Sankey do uso e ocupação de solo das áreas de preservação permanente da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba para os períodos estabelecido por meio do teste de Pettitt, apresentados nas Figura 9 e Figura 10.

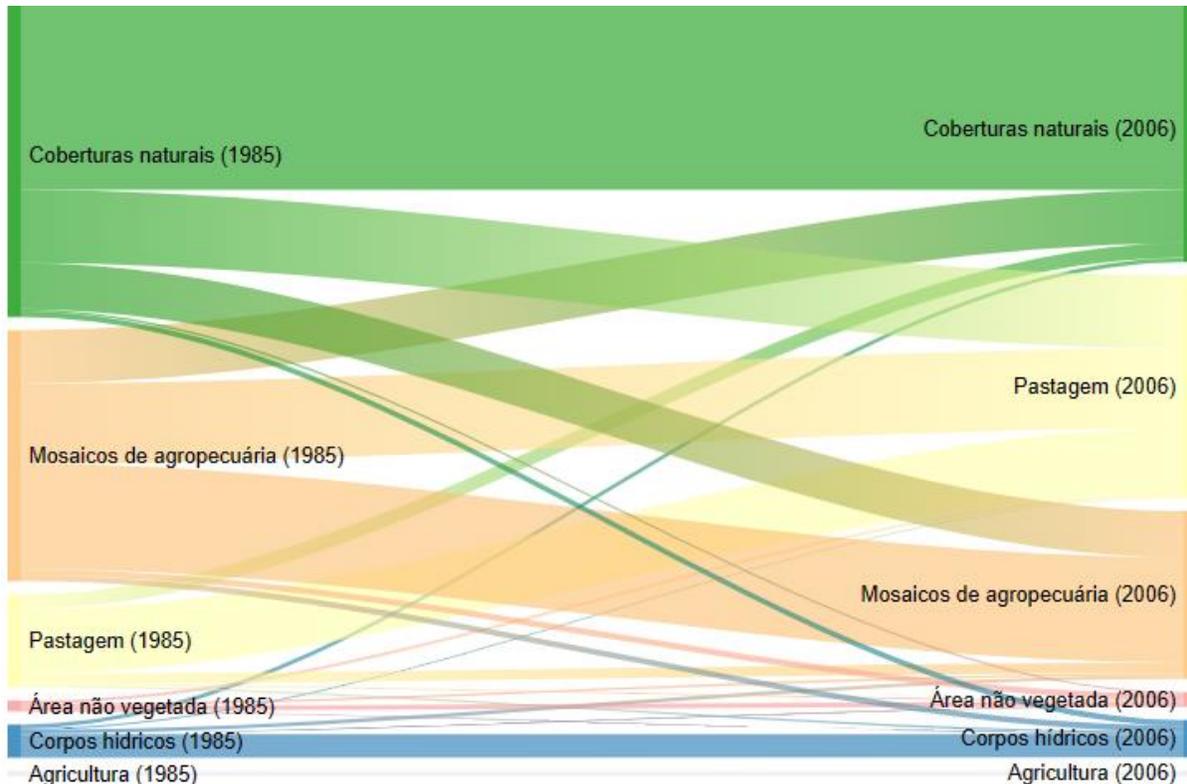


Figura 9 – Diagrama de Sankey do uso e ocupação de solo das APPs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – 1985 a 2006. Fonte: Autoria própria (2022).

Para o período de 1985 a 2006, houve um decréscimo de 17,0% nas áreas com coberturas naturais, passando de 45,1% para 37,4%. Nota-se que as maiores alterações de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Paraíba foram das áreas com coberturas naturais para pastagem e mosaico de agropecuária. Santos et al. (2019) identificou que, para a Bacia Hidrográfica do Rio Caldas – GO, entre 1985 e 2008, a classe pastagem foi responsável pelas maiores áreas em conflito de uso do solo, característica semelhante identificada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Quanto às áreas não vegetadas e de superfícies cobertas por corpos hídricos, estas apresentaram mudanças ínfimas.

A Figura 10 apresenta o diagrama de Sankey para o período de 2007 a 2020 e, apesar de acontecer ainda a degradação de áreas com coberturas naturais, se comparado o primeiro e último anos analisados, houve uma

recuperação de 27,6% das áreas com coberturas naturais, advindas principalmente da pastagem e da agropecuária.

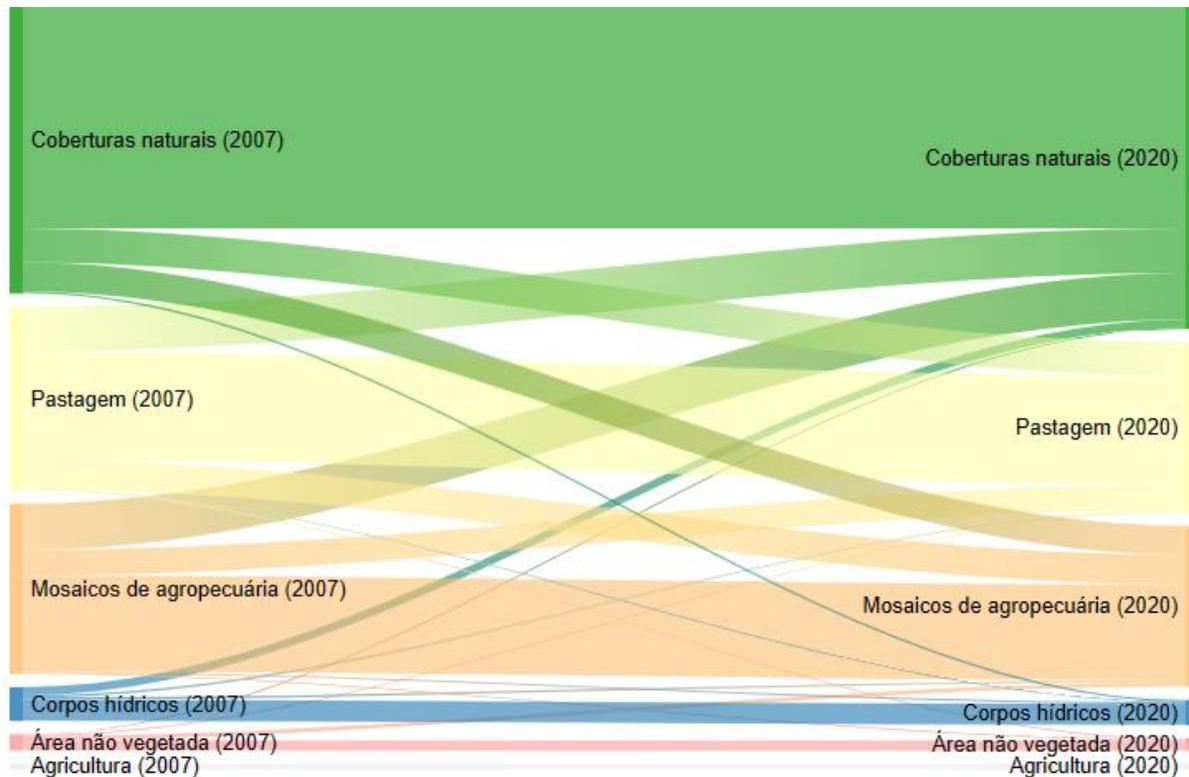


Figura 10 – Diagrama de Sankey do uso e ocupação de solo das APPs da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – 2007 a 2020. Fonte: Autoria própria (2022).

IV. CONCLUSÕES

A análise da série temporal de uso e ocupação da terra constatou que houve alterações significativas nas matas ciliares da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, devido as atividades antrópicas praticadas na área e ações implementadas para gestão e proteção dos recursos naturais da área em estudo.

O teste de Pettitt mostrou uma quebra na tendência temporal da série de cobertura natural nas áreas de proteção permanente no ano de 2006, que pode estar relacionada à criação do comitê da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e o início da transposição do Rio São Francisco, obra que propôs medidas de conservação das matas ciliares no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Através dos testes de Mann-Kendall constatou-se que ocorreu uma mudança significativa das tendências da série temporal, se comparados os períodos de 1985 a 2006 e 2007 a 2020, principalmente nas Regiões do Médio e do Baixo curso do Rio Paraíba. Essas áreas apresentaram tendência de crescimento da cobertura natural de 2007 a 2020.

O diagrama de Sankey possibilitou a melhor visualização e análise dos dados obtidos, sendo possível constatar que no período de 1985 a 2006 ocorreu um decréscimo de 17,0% da área de cobertura natural, com perda significativa para as atividades de pastagem e agropecuária. Já para o período de 2007 a 2020 houve uma recuperação de 27,6% dessas áreas de cobertura natural e nos limites de APPs estabelecidos pelo atual Código Florestal.

As ferramentas de geoprocessamento e as metodologias estatísticas utilizadas mostraram-se eficientes para análise dos dados temporais de vegetação e uso e ocupação da terra, sendo fundamental suas aplicações na gestão e proteção dos recursos naturais de bacias hidrográficas. Para estudos posteriores, recomenda-se que os dados temporais sejam correlacionados as informações sobre outorgas do uso da água para atividades agropecuárias existentes na bacia do Rio Paraíba.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo financiamento do Projeto de Pesquisa sob Termo de Outorga nº 3033/2021, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ). E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa (307608/2022-0) ao primeiro autor.

V. REFERÊNCIAS

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: agosto de 2022.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Dados abertos. Disponível em: <<https://dadosabertos.ana.gov.br/>>. Acesso em: agosto de 2022.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Brasília – DF. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acesso em: setembro 2022.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Brasília, DF. 2004.
- CARMO JÚNIOR, E. L. Atuação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba/PB: uma análise das reuniões colegiadas no período de 2007 a 2020. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. 2021.
- CASTRO, C. N. Transposição do rio São Francisco: análise de oportunidade do projeto. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011.
- CBH-PB. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Disponível em: <<http://www.aguasdaparaiba.com.br/comites.php?id=2>>. Acesso em: setembro de 2022.

FRANÇA, B. T.; ANDRADE, M. P.; RIBEIRO, C. B. M.; HIPPERT, H. S. Dinâmica do uso do solo e alterações na vazão na bacia do Rio São Francisco no início do Séc. XXI. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, e. 11. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e11>

KENDALL, M. G. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin. 1975.

MANN, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3. 1945.

LIMA, L. N. M. de; SANTANA, M. A. R.; REIS, L. N. G. Impactos socioambientais da ocupação urbana em área de proteção permanente no parque alvorada, Itapuranga (GO) – Brasil. *Papeles de Geografia*, v.68, p. 79-96, 2022. <https://doi.org/10.6018/geografia.522651>

LIMA, F. N.; SILVA, J. B.; DUARTE, S. M. A. Caracterização ambiental da sub-bacia do rio Taperoá – Paraíba. *Revista Ambiência Guarapuava (PR)*, v.13, n.2, p. 284 – 300, 2017. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2017.02.02>

LOPES, E. R. N. *Zoneamento Ecológico-Econômico: diretrizes, parâmetros e técnicas para a gestão ambiental de bacias hidrográficas*. 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2018.

MORAES, M. N.; SANTOS, R. B. B.; LIMA, W. S. G. Caracterização dos impactos ambientais em área de preservação permanente – APP, localizado no médio curso do Rio Paraíba do Norte, município de Itabaiana - PB. *Revista Acta Scientia*, v. 3, n. 1, p. 15 - 34, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.iesp.edu.br/index.php/actascientia/article/view/509>> Acesso em: agosto de 2022.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to change-point problem. *Applied Statistic*, London, v. 28, n.2. 1979.

MAPBIOMAS. *Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil*. Coleção 6 de Metodologia (1985 – 2020). 2021. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>>. Acesso em: setembro de 2022.

MAPBIOMAS. *Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil*. O que é o MapBiomias?. 2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/o-que-e-o-mapbiomas>>. Acesso em: setembro de 2022.

RESENDE, I. C.; SANTOS, R. R. Avaliação dos impactos da transposição do Rio São Francisco. *Dignidade Re-Vista*, v. 4, n. 8, 2019.

SANTOS, L. A. C.; VIEIRA, L. M. F.; MARTINS, P. T. A.; FERREIRA, A. A. Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*. v. 8, n. 2, p. 189-211, 2019. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i1.p189-211>

SILVA, M. P.; CUNHA, Y. M.; KRINSKI, S. Reforma do código florestal e aplicação prática no âmbito da bacia hidrográfica do rio Araranguá-SC. *Revista Tecnologia e Ambiente*, v. 22, p. 162-178, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/download/2969/2753/8535>> Acesso em: agosto de 2022.

SILVA, A. A. S.; NOBRE, A. D.; CASTRO, M. R. C. Código Florestal e proteção dos recursos hídricos no contexto de bacias hidrográficas no meio urbano-rural. *In*: PHILIPPI JR, A.; SOBRAL, M. do C. (org.). *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. Barueri: Editora Manole, p. 342 - 365, 2019.