

OCUPAÇÃO DE ESPAÇOS DE VÁRZEAS E DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE URBANAS EM FLORIANO - PI: PROPOSTAS PARA MITIGAR OS EFEITOS DE INUNDAÇÕES

OCCUPATION OF FLOODPLAIN SPACES AND URBAN PERMANENT PRESERVATION AREAS IN FLORIANO - PI: PROPOSALS TO MITIGATE THE EFFECTS OF FLOODING

OCUPACIÓN DE ESPACIOS DE LLANURA INUNDABLE Y ÁREAS DE PRESERVACIÓN PERMANENTE URBANA EN FLORIANO - PI: PROPUESTAS PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LAS INUNDACIONES

 <https://doi.org/10.56238/arev7n6-134>

Data de submissão: 13/05/2025

Data de publicação: 13/06/2025

Rogério Nora Lima

Biólogo. Doutor em Ecologia. Universidade Federal do Piauí

E-mail: noralima@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4438839465469384>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5159-6447>

RESUMO

O crescimento urbano conduz à ocupação de espaços que, por sua importância e fragilidade ecológica, são inadequados para a ocupação humana, destacando-se as várzeas e/ou áreas de preservação permanente (APPs). Planos diretores municipais nem sempre as incluem nas suas zonas *non edificandi*, limitando a fiscalização contra a sua ocupação. Com as geotecnologias é possível mapear essas áreas e simular os riscos associados às ocupações das mesmas devido, por exemplo, às variações hídricas, especialmente com as mudanças climáticas em curso. Este estudo objetivou caracterizar a ocupação de várzeas urbanas e/ou APPs e propor abordagens para atenuar os efeitos das ocupações em áreas sensíveis à inundação. Aplicou-se técnicas de classificação supervisionada (MaxVer) para analisar a ocupação da malha urbana de Floriano-PI, incluindo suas áreas inundáveis e/ou APPs. Algoritmos de análise do relevo (HAND) e de simulação de cenários (LCM/Change Allocation) foram utilizados para estimar áreas com risco de inundação. A combinação dessas técnicas permitiu avançar no reconhecimento das áreas em risco por ocupações inadequadas, que no caso em estudo podem abranger até 579 ha (hectares). A ocupação dos espaços de APPs no município aumentou 54,75% entre 2004 e 2020, principalmente sobre áreas com vegetação herbácea, que diminuíram 92,09%, enquanto apenas 08,65% possuem vegetação relativamente conservada. Muitas das áreas próximas à orla do rio Parnaíba têm elevado risco de inundação se a cota 8 metros de cheia for atingida. A simulação do cenário até 2050 aponta para o avanço na ocupação das áreas mais sensíveis já identificadas. Os riscos de inundações podem ter seus efeitos mitigados pela proteção/restauração das APPs, várzeas e demais áreas verdes, principalmente na orla peri-urbana do rio Parnaíba ainda sem ocupações consolidadas.

Palavras-chave: Áreas verdes urbanas. Sustentabilidade ambiental. Ecologia da paisagem.

ABSTRACT

Urban growth leads to the occupation of spaces that, due to their importance and ecological fragility, are unsuitable for human occupation, especially floodplains and/or permanent preservation areas (APPs). Municipal master plans do not always include them in their non-edificandi zones, limiting monitoring against their occupation. With geotechnologies, it is possible to map these areas and

simulate the risks associated with their occupation due, for example, to water variations, especially with ongoing climate change. This study aimed to characterize the occupation of urban floodplains and/or APPs and propose approaches to mitigate the effects of occupations in areas sensitive to flooding. Supervised classification techniques (MaxVer) were applied to analyze the occupation of the urban network of Floriano-PI, including its flood-prone areas and/or APPs. Relief analysis (HAND) and scenario simulation (LCM/Change Allocation) algorithms were used to estimate areas at risk of flooding. The combination of these techniques has made it possible to advance in the identification of areas at risk due to inadequate occupation, which in the case under study can cover up to 579 ha (hectares). The occupation of APP spaces in the municipality increased by 54.75% between 2004 and 2020, mainly in areas with herbaceous vegetation, which decreased by 92.09%, while only 08.65% have relatively preserved vegetation. Many of the areas close to the banks of the Parnaíba River are at high risk of flooding if the 8-meter flood level is reached. The simulation of the scenario until 2050 indicates progress in the occupation of the most sensitive areas already identified. The risks of flooding can have their effects mitigated by the protection/restoration of APPs, floodplains and other green areas, mainly on the peri-urban banks of the Parnaíba River, which are still without consolidated occupations.

Keywords: Urban green areas. Environmental sustainability. Landscape ecology.

RESUMEN

El crecimiento urbano conlleva la ocupación de espacios que, por su importancia y fragilidad ecológica, resultan inadecuados para la ocupación humana, especialmente llanuras aluviales y/o áreas de preservación permanente (APP). Los planes directores municipales no siempre los incluyen en sus zonas no edificables, lo que limita el monitoreo de su ocupación. Con geotecnologías, es posible mapear estas áreas y simular los riesgos asociados a su ocupación debido, por ejemplo, a las variaciones hídricas, especialmente con el cambio climático en curso. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la ocupación de llanuras aluviales urbanas y/o APP y proponer enfoques para mitigar los efectos de las ocupaciones en áreas sensibles a inundaciones. Se aplicaron técnicas de clasificación supervisada (MaxVer) para analizar la ocupación de la red urbana de Floriano-PI, incluyendo sus áreas propensas a inundaciones y/o APP. Se utilizaron algoritmos de análisis de relieve (HAND) y simulación de escenarios (LCM/Change Allocation) para estimar las áreas con riesgo de inundación. La combinación de estas técnicas ha permitido avanzar en la identificación de áreas de riesgo por ocupación inadecuada, que en el caso en estudio pueden abarcar hasta 579 ha (hectáreas). La ocupación de espacios de APP en el municipio aumentó un 54,75 % entre 2004 y 2020, principalmente en áreas con vegetación herbácea, que disminuyó un 92,09 %, mientras que solo el 8,65 % presenta vegetación relativamente preservada. Muchas de las áreas cercanas a las orillas del río Parnaíba presentan un alto riesgo de inundación si se alcanza el nivel de inundación de 8 metros. La simulación del escenario hasta 2050 indica avances en la ocupación de las áreas más sensibles ya identificadas. Los riesgos de inundación pueden mitigar sus efectos mediante la protección/restauración de APP, llanuras aluviales y otras áreas verdes, principalmente en las riberas periurbanas del río Parnaíba, que aún no presentan ocupaciones consolidadas.

Palabras clave: Áreas verdes urbanas. Sostenibilidad ambiental. Ecología del paisaje.

1 INTRODUÇÃO

As áreas inundáveis ou várzeas na verdade constituem nascentes difusas ou depressões no terreno onde se acumulam água, regulando a sua entrada novamente no solo. Esse aspecto é vital para a constante recarga de aquíferos e para regulação hídrica (ALEXANDER et al, 2018). Seja no ambiente rural ou no urbano esses espaços desempenham um papel crucial na ecologia das águas e se relacionam com a oferta de diversos serviços ecossistêmicos, tais como oferta de água, formação de habitats, crescimento vegetal, dentre outros (BUISSON et al, 2019).

No entanto, historicamente as áreas inundáveis são manejadas erroneamente, algumas vezes sendo drenados para liberar terrenos a serem ocupados. Também é muito comum que a ocupação ocorra de forma desordenada sobre essas áreas e sem precauções de respeitar a distância legal dos mananciais, com invasão de áreas de preservação permanente (APPs) de matas ciliares e de nascentes, o que têm contribuído significativamente para os problemas de inundações em áreas urbanas (BLACKWELL et al, 2006).

O rápido crescimento populacional urbano tem levado à conversão dessas áreas em espaços altamente impermeabilizados por coberturas como concreto e asfalto, produzindo diversos impactos negativos, podendo ser destacado o aumento da frequência e intensidade de inundações urbanas, aspectos que tendem a se agravar em função da crise climática em curso (OLIVEIRA, 2019). O aumento na frequência e na gravidade dos fenômenos climáticos extremos, notadamente as inundações, são uma ameaça crescente para a resiliência da sociedade humana, afetando campo e cidades, colocando em risco a segurança dos residentes e comprometendo a sua qualidade de vida (CHOU et al, 2014).

Nesse contexto, a muitas décadas já existem suportes legais que limitam a ocupação de certos espaços considerados especiais (MOREIRA, 2021). A necessidade de tutela jurisdicional do Estado sobre as áreas inundáveis foi necessária para disciplinar a ocupação do espaço geográfico, há vista a sua sensibilidade à presença humana e também pelos serviços ecossistêmicos que realizam, os quais podem ser perdidos nas situações de adensamento de atividades antrópicas. Nesse arcabouço legal podem ser destacados o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) e a Lei de Parcelamento do solo urbano (BRASIL, 1979), ambas elencando situações em que o espaço deve ficar livre de ocupações e atividades humanas diretas ou em que elas devem ser efetivadas apenas mediante a observação de alguns critérios de restrição.

O Código Florestal, embora seja mais afeito aos ambientes não urbanos também é aplicável às cidades e determina que existem no espaço geográfico locais que compõem as Áreas de Proteção Permanente (APPs). Dentre essas situações, ressalta-se o relevante papel ecológico das margens de

todos os cursos d'água e as suas nascentes, as quais devem possuir vegetação nativa protetora, geralmente chamadas de Mata ciliar. A segunda lei citada acima define claramente o que são zonas *non edificandi* nas zonas urbanas municipais. Dentre essas estão as várzeas ou áreas inundáveis, que muitas das vezes coincidem com situações de APPs de matas ciliares por incidirem em áreas de nascentes difusas ou brejos ou por comporem a vegetação em bordas dos cursos d'água (TUCCI, 2020).

Desse modo, as várzeas e/ou as APPs podem ser planejadas para atuarem como um sistema de áreas verdes urbanas, onde podem ser estabelecidas infraestruturas urbanas como praças, parques e outros espaços que podem realizar diversos serviços ecossistêmicos (ERNSTSON et al., 2010).

Há várias concepções do que são áreas verdes urbanas, mas o aspecto mais importante é predominância do componente vegetal e da biodiversidade a ele associada para que possam atuar de forma equilibrada e que conservem a biodiversidade e também tragam benefícios para a sociedade humana (BARGOS; MATIAS, 2011).

Dessa forma, estudos que conciliem a abordagem clássica de reconhecimento do uso do solo (espaço geográfico) e de planejamento ambiental, com análises dos padrões da sua ocupação, especialmente sobre os espaços sensíveis e as possíveis consequências para a população em casos de eventos climáticos extremos podem nortear as discussões sobre como conduzir e organizar a expansão urbana. Essa abordagem pode colaborar para políticas públicas de movimentação das populações alocadas em áreas de risco, em planos de contingências e na produção de Planos diretores urbanos conectados com a realidade das cidades nesse momento atual de transição climática (PARMIGIANI; SANSOLO, 2017; PERES et al, 2018).

Este estudo teve como objetivo caracterizar o uso do solo e ocupação de várzeas urbanas e APPs na área de estudo. Além disso, pretendeu simular e reconhecer previamente as prováveis localidades com maior probabilidade de serem futuramente ocupadas, os riscos dessas tendências e propor abordagens para atenuar esses efeitos.

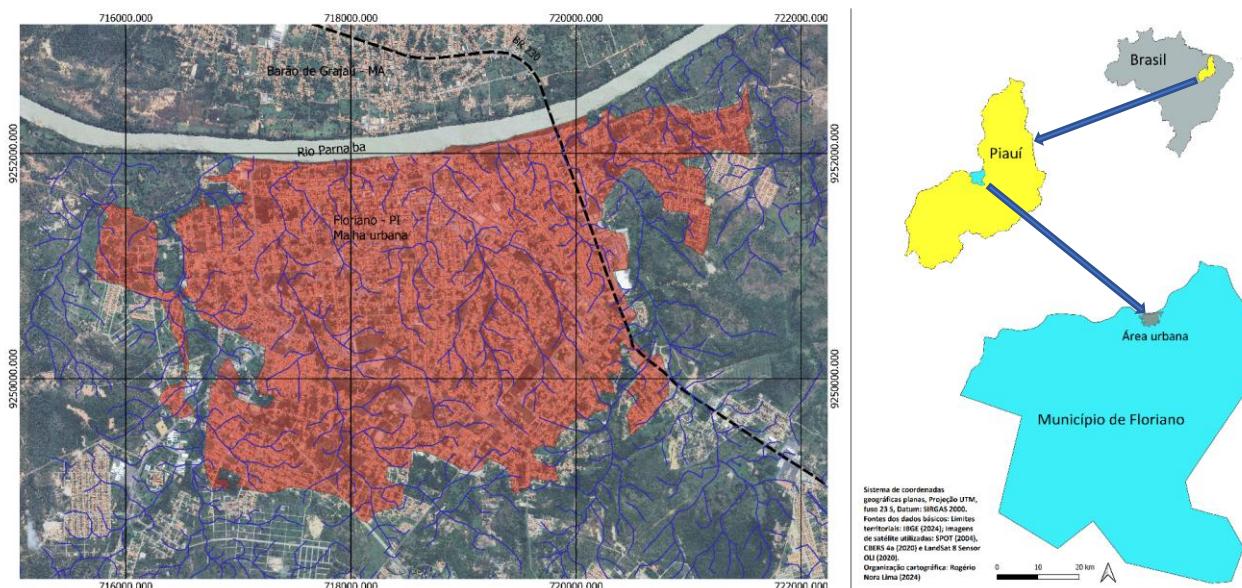
2 METODOLOGIA

A área de estudo é composta pela área de ocupação urbana do município de Floriano, localizada na região centro-sul do estado do Piauí (PI), Brasil (Figura 1). Possui aproximadamente 60.000 habitantes, com comércio e muitas residências concentradas na região urbana central e bairros do entorno. Boa parte da ocupação humana está situada nas proximidades da orla do rio Parnaíba em regiões de altitude baixa a média com relação a esse curso d'água (IBGE, 2024).

O relevo da região é predominantemente plano, com áreas de várzeas e planícies aluviais de vários cursos d'água que fluem para o rio Parnaíba. O clima regional é tropical semiárido, chuvoso de

novembro a abril e seco de maio a outubro (IBGE, op. cit.). A recente expansão urbana local e regional e as demais atividades humanas têm exercido pressão sobre de ocupação sobre as áreas que ainda possuem remanescentes dos ecossistemas naturais na região. O contexto de relevo e hidrológico-climático aponta que há tendência de ocorrerem eventos climáticos extremos, como secas e inundações sazonais.

Figura 1 – Localização da área de estudos: malha urbana de Floriano - PI.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

A 110 Km a montante existe a represa de Boa Esperança (Guadalupe – PI), reservatório que controla o regime hídrico do rio Parnaíba e influencia seus níveis de vazão, mas, quando as chuvas excedem a capacidade da represa existe o risco de inundações e danos em Floriano (CHESF, 2024). Recentemente tais tendências foram reforçadas por comunicado do Governo federal que listou as cidades banhadas pelo rio Parnaíba como “de risco” para desastres ambientais (CIDADE VERDE, 2024a) e a Companhia do Vale do Rio São Francisco (CHESF) em 2024 realizou na represa citada treinamentos para emergências relacionadas a esses riscos (CIDADE VERDE, 2024b).

A ocupação do solo urbano foi caracterizada visando identificar as áreas urbanizadas e os remanescentes de cobertura vegetal, por meio de classificação supervisionada pelo algoritmo Máxima verossimilhança (MaxVer), combinados com o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), nos Sistema de Informações Geográficas (SIGs) Geospatial Modelling and Monitoring System (Terrset) e Quantum Geographical Information System (QGIS) 3.3 conforme procedimentos de Moreira (2011). O material de trabalho foram imagens de Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT) de 2004 com 10 metros de resolução espacial, Satélite China-Brazil Earth Resources Satellite

(CBERS 4a) e Operational Land Imager (LandSat 8), Sensor OLI, bandas 4, 3 e 2, sendo os dois últimos conjuntos de imagens datados de 2020 e tendo 10 metros de resolução espacial na composição em mosaico com as bandas pancromáticas (MOREIRA, op. cit.).

Com base nessas informações foram realizadas análises de risco de inundações e a identificação das áreas propensas a alagamentos, com base em dois procedimentos de simulação: inicialmente foram calculadas as áreas com cotas de inundaçao com equidistância de cinco metros a partir de modelo digital de elevação (MDE) obtido de imagem USGS (United States Geological Survey) de 2020 no QGIS, com cálculo de áreas e edição de imagens no Tersset (EASTMAN, 2016). Em paralelo foi utilizado o algoritmo HAND [Height Above the Nearest Drainage] versão 0.8.1 (CUARTAS et al, 2012) no QGIS também aplicado ao modelo de relevo para comparar e/ou complementar os resultados da abordagem anterior.

A seguir os mapas de risco de inundaçao foram analisados em conjunto com os dados de ocupação do solo para classificar as áreas com maior probabilidade de inundaçao durante eventos extremos de chuva diferentes classes de risco, para identificar se elas estão posicionadas em áreas de preservação permanente (APPs) (Brasil, 2012) e se ainda há vegetação remanescente, seja conservada ou alterada. Além disso, visando analisar a dinâmica de urbanização e a apropriação dos espaços onde existe/existia vegetação remanescente na área de estudo foi calculada a evolução temporal da ocupação entre 2004 e 2020. Para isso, realizou-se a classificação supervisionada nas datas citadas e a sua comparação no módulo LCM (Land Change Modeler) no SIG Terrset (EASTMAN, op. cit.).

Também foram simuladas no LCM as tendências de evolução da ocupação urbana com base na apropriação dos espaços naturais/seminaturais na área de estudos, quer seja avançando sobre APPs, quer seja sobre a vegetação urbana que não está formalmente protegida. Novamente essas informações foram cotejadas com aquelas sobre as áreas com maior risco de inundaçao citadas acima. Essa abordagem fornece uma visão potencial dos riscos das ocupações em áreas inundáveis urbana. Dessa forma, os resultados apresentados são importantes para o desenvolvimento de estratégias de mitigação das consequências de eventos climáticos extremos, contribuindo para a gestão sustentável desses ambientes.

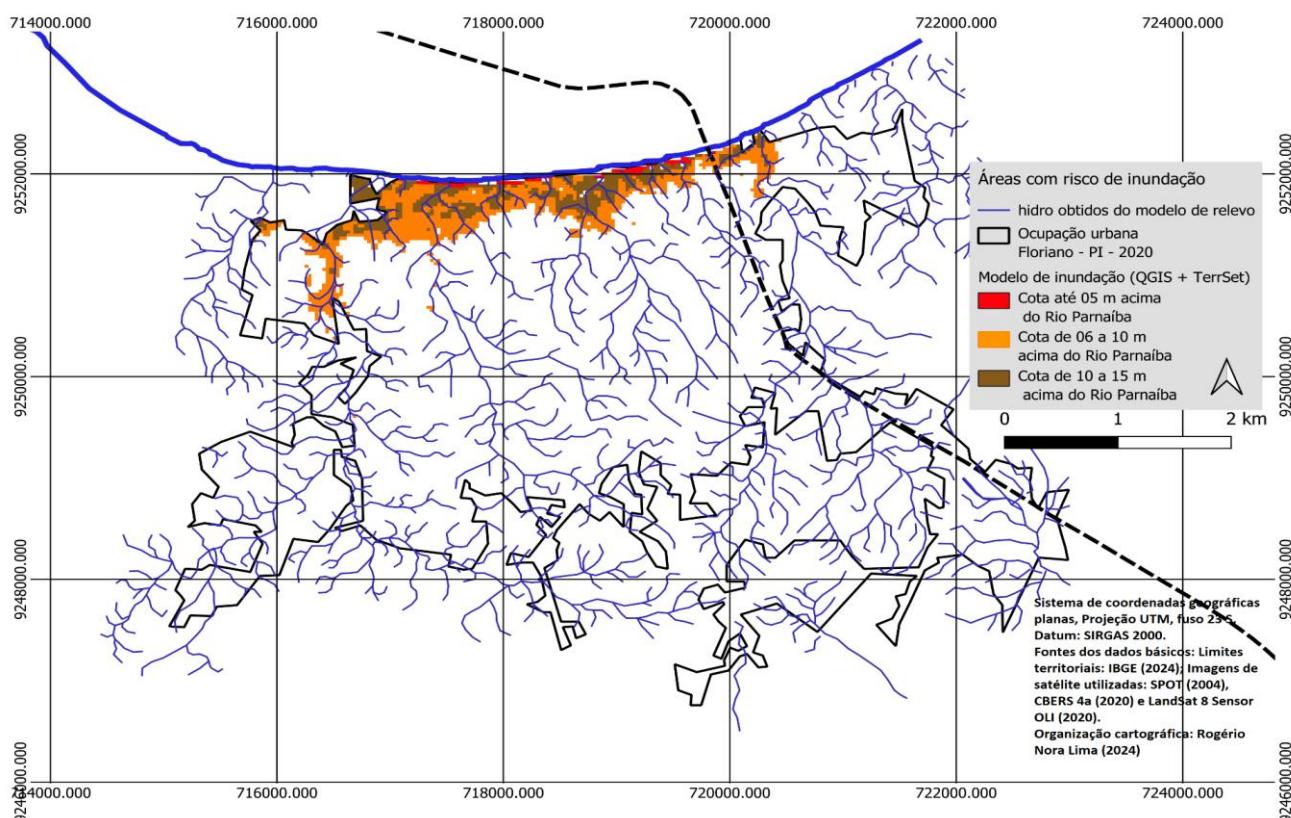
3 RESULTADOS

Com base no modelo QGIS-Terrset, que enfatiza a análise por altitude, identificou-se uma área bastante urbanizada na orla do rio Parnaíba, a qual, por sua baixa altura em relação a esse curso d'água (cotas até cinco metros acima do rio), está muito vulnerável à eventos de inundaçao. Essa área abrange

58,12 hectares (ha) e apresenta residências antigas, patrimônios históricos, comércios, áreas de lazer e importantes vias da região (Figura 2a e Tabela 1).

Considerando a altitude e o relevo (modelo de simulação Hand) a área suscetível a inundações é maior, abrangendo a orla e outras áreas mais distantes do rio Parnaíba, mas que formam depressões planas que podem acumular água até que ocorra o seu escoamento a jusante (Figura 2b e Tabela 2).

Figura 2a – Áreas sob risco de inundaçao com base no modelo de relevo QGIS-Terrset.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Tabela 1 – Resultados da simulação quanto ao risco de inundaçao (modelo QGIS/TerrSet) baseado em cotas altimétricas que estão entre 05 e 15 metros acima do rio Parnaíba em Floriano – PI.

Área urbana e respectivas cotas altimétricas acima do rio Parnaíba	Área ocupada (ha)
Até 5 metros acima do rio Parnaíba	7,35
De 05 a 10 metros acima do rio Parnaíba	58,12
De 10 a 15 metros acima do rio Parnaíba	104,73
Total	170,21

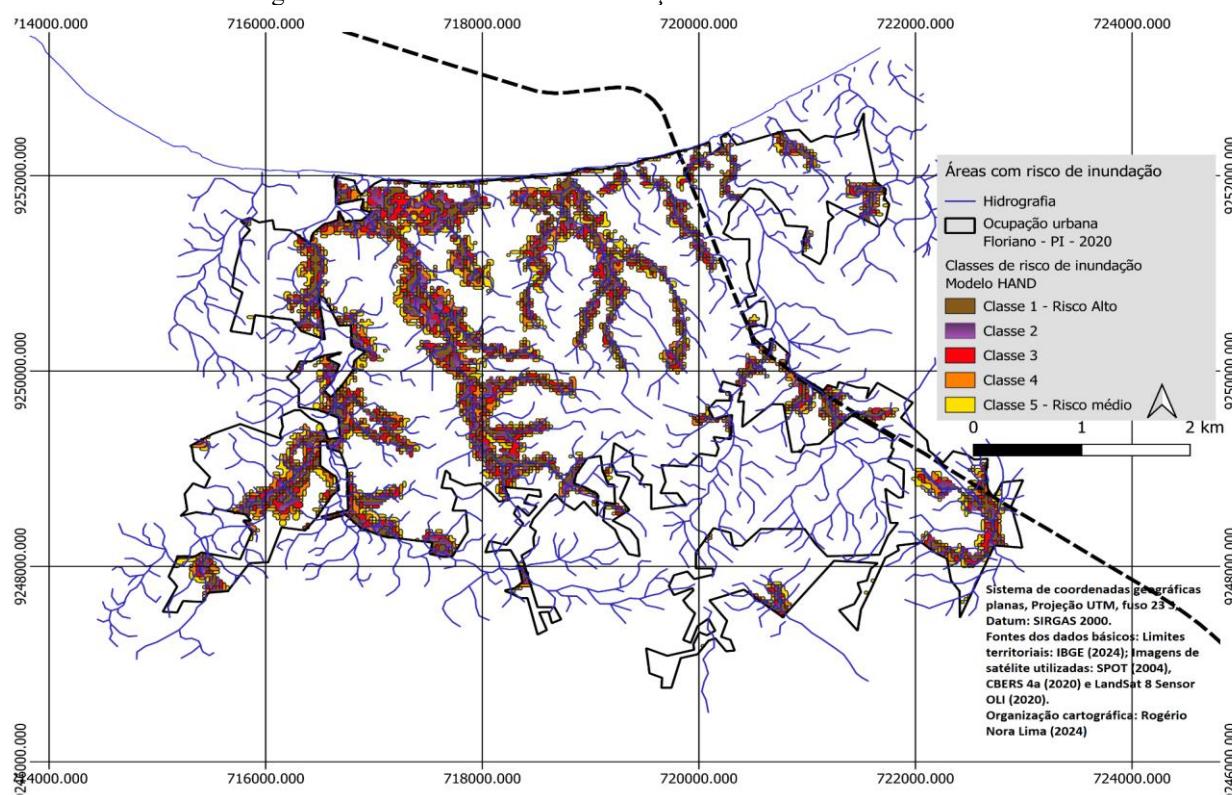
Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Tabela 2 - Resultados da simulação quanto ao risco de inundação (modelo HAND) em Floriano – PI.

Classe de risco de inundação	Área ocupada (ha)
1 – Alto risco de inundação	118,32
2	85,67
3	125,68
4	127,09
5 - Risco médio	122,37
Total da área de inundação (classes 1 a 5)	579,15

Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 2b – Áreas sob risco de inundação com base no modelo HAND.

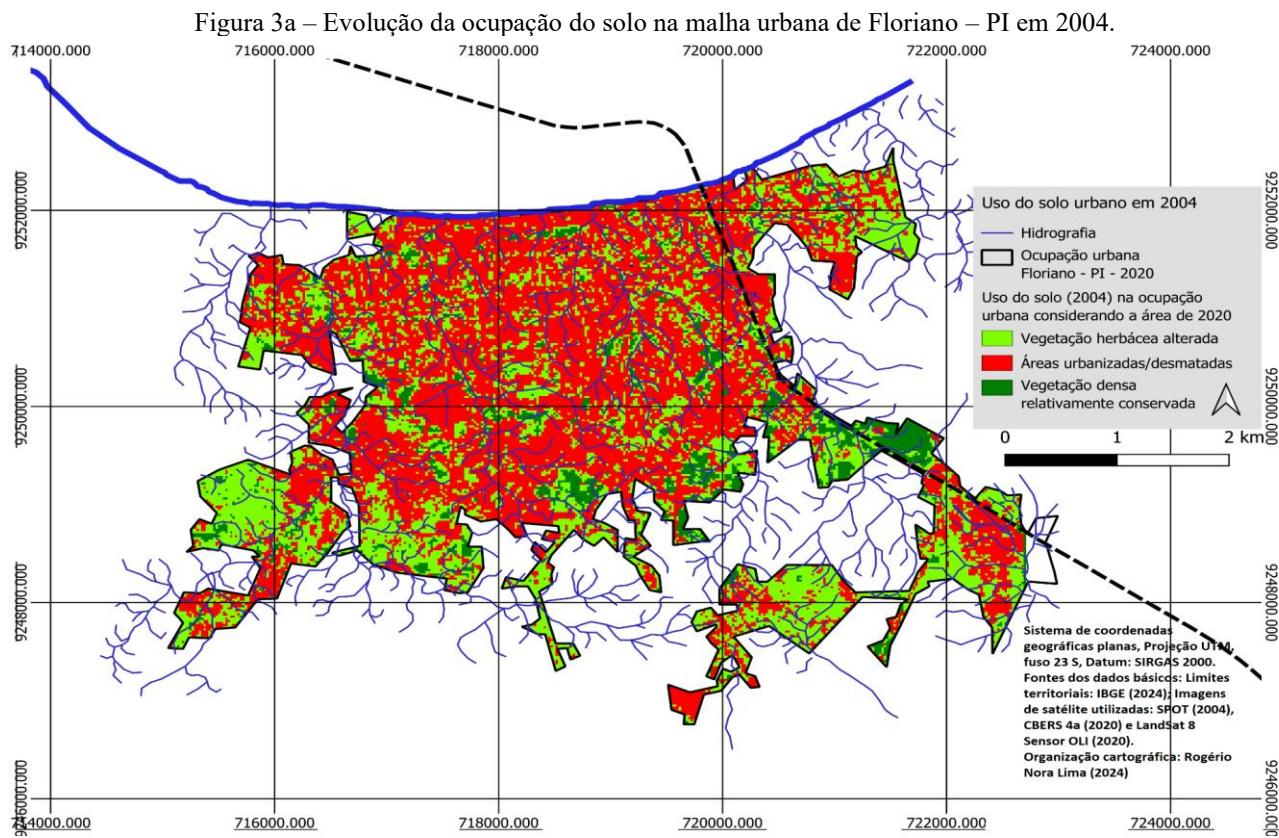


Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

A área municipal urbanizada aumentou de 928,96 ha em 2004 para 1.303,39 ha em 2020, substituindo principalmente as formações herbáceas, que decaíram de 567,70 ha para 53,16 ha, sendo gradativamente transformadas em terrenos sem cobertura vegetal ou em pastos com muitas espécies invasoras, tornando mais fácil o processo de transformação em áreas ocupadas pela construção civil (áreas efetivamente urbanizadas). Por outro lado, a vegetação mais densa e melhor conservada, geralmente localizada em declives ou em áreas ribeirinhas, encharcadas e com maior dificuldade para a urbanização, apresentou um aumento de aproximadamente 100 ha no período (Figuras 3a e 3b; Tabela 3).

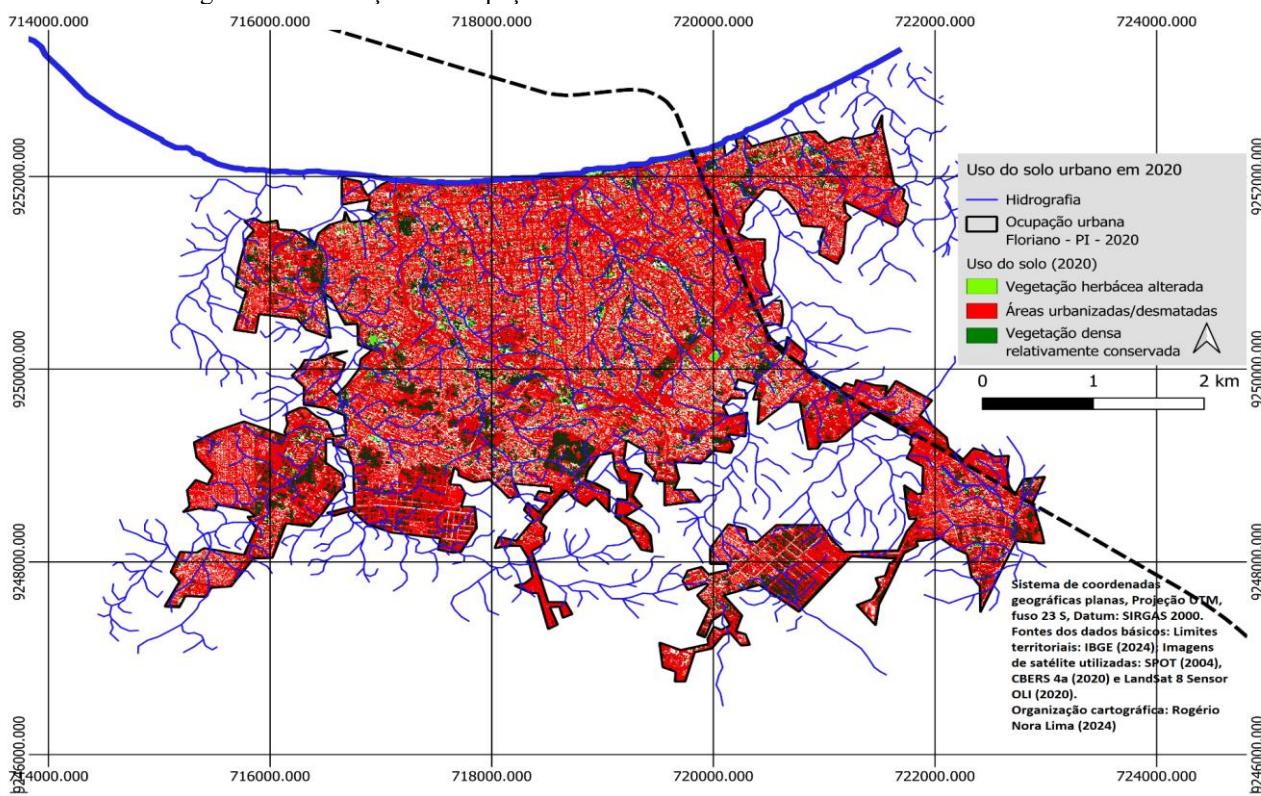
Com relação especificamente aos espaços legalmente destinados às APPs (BRASIL, 2012) observa-se uma tendência semelhante ao que se observa acima na área urbana total do Município.

Nesse âmbito, o espaço total que deveria ser ocupado por ecossistemas nativos nas APPs de matas ciliares contabiliza 523,83 ha. Mas, destes espaços, apenas 91,89 ha estão efetivamente protegidos por cobertura vegetal densa relativamente conservada, enquanto existem 19,27 ha com vegetação herbácea degradada e o restante (412,67 ha ou 78,77%) são áreas irregularmente alteradas/urbanizadas (Figuras 4a e 4b e Tabela 4).



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 3b – Evolução da ocupação do solo na malha urbana de Floriano – PI em 2020.



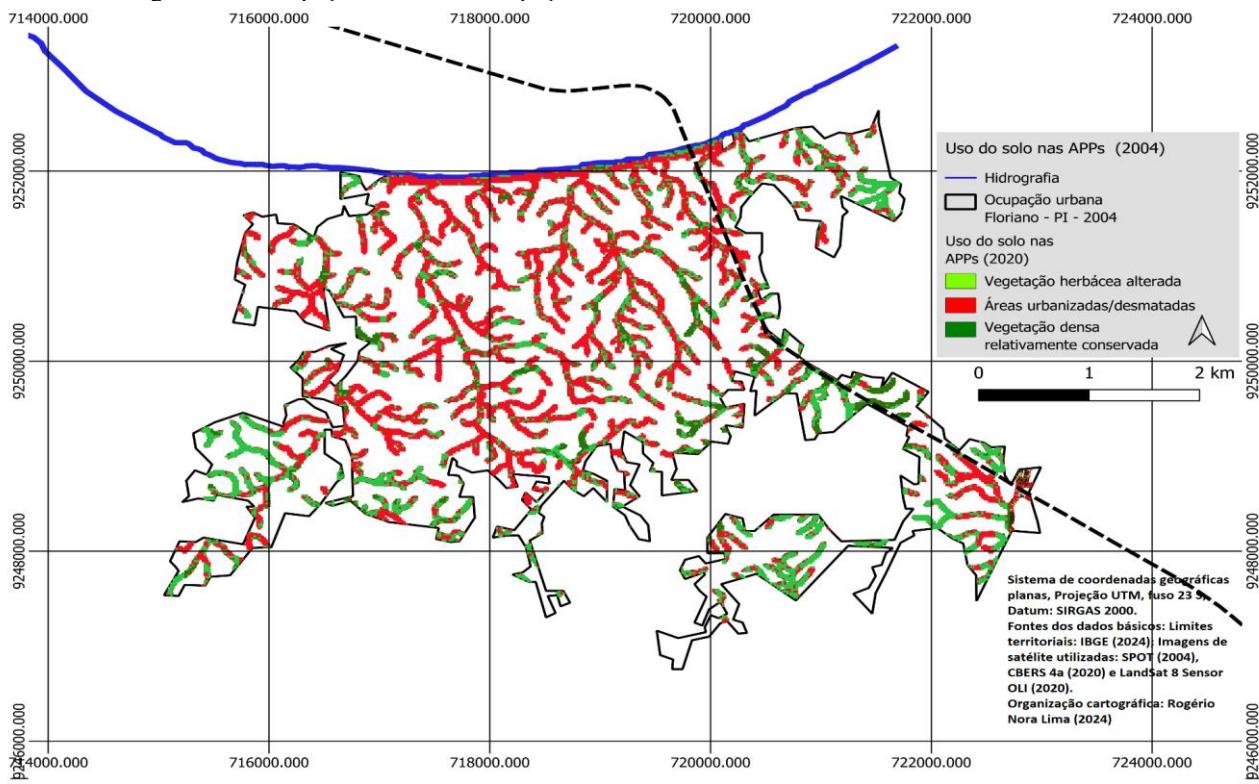
Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Tabela 3 - Evolução da ocupação do solo entre 2004 e 2020 em Floriano, PI.

Categoria de uso do solo na área urbana do município	Uso solo - 2004 (ha)	Uso do solo - 2020 (ha)
Áreas antropizadas/urbanizadas	928,96	1.303,39
Vegetação densa/relativamente conservada	126,29	266,42
Vegetação herbácea/alterada	567,70	53,16
Total	1.622,95	1.622,98

Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 4a – Ocupação do solo nos espaços de APPs na malha urbana de Floriano – PI em 2004.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

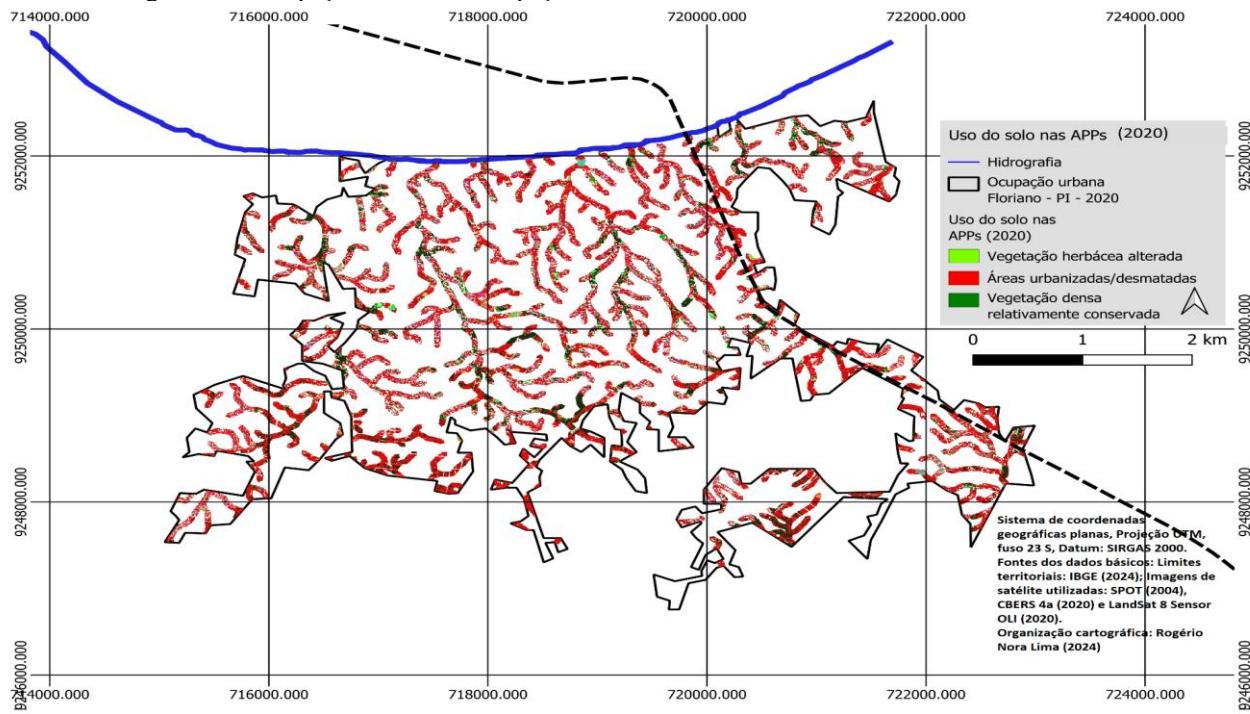
Tabela 4 - Evolução da ocupação do solo nos espaços destinados legalmente para APPs entre 2004 e 2020 (considerando a malha atual de Floriano 2020).

Categoria de uso do solo	Uso solo - 2004 (ha)	Uso do solo - 2020 (ha)
Área de APP antropizadas/urbanizadas	304,96	412,66
Área de APP c/ vegetação densa/relativamente conservada	40,6	91,89
Área de APP c/ Vegetação herbácea/alterada	178,25	19,27
Área legalmente destinada às APPs na malha urbana	523,81	523,82

Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

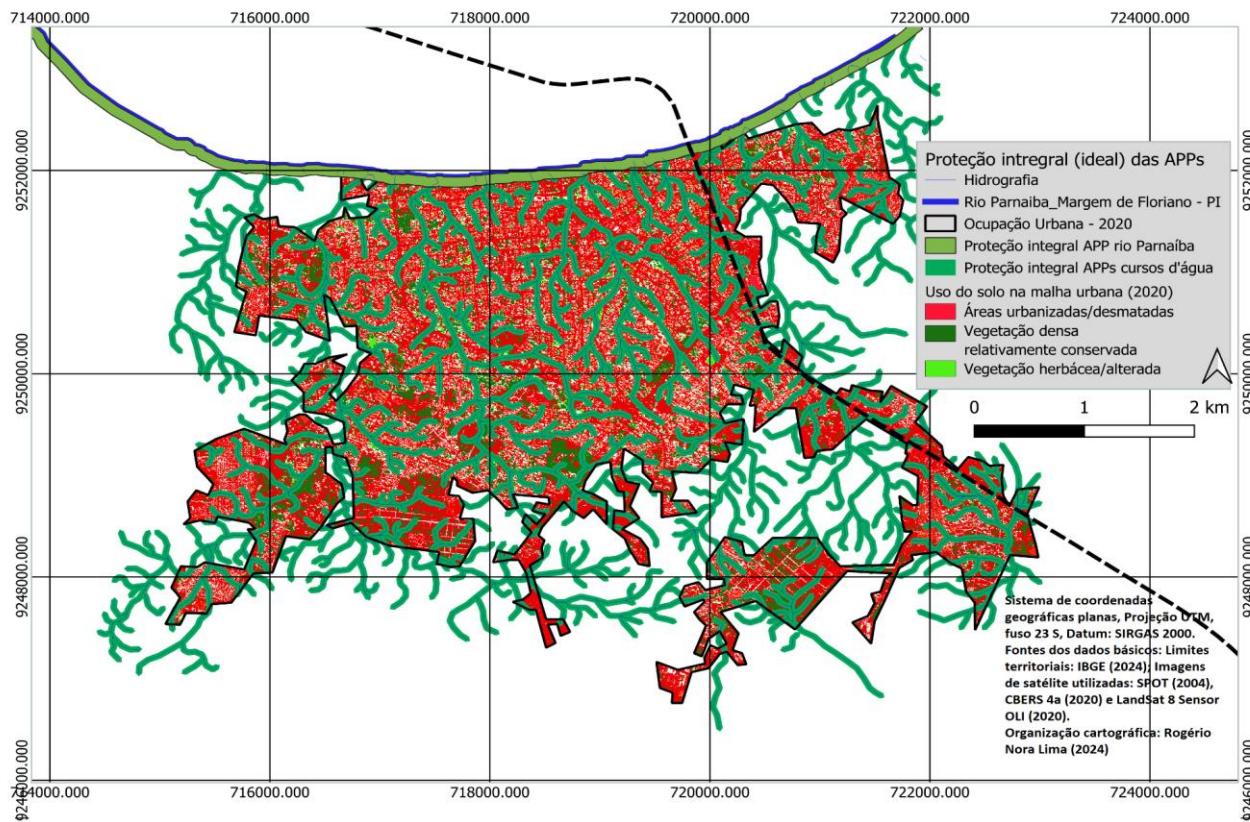
A figura 5 simula a situação ideal das APPs urbanas e seus ecossistemas ripários (matas ciliares) estando plenamente protegidos, permitindo perceber que a maioria delas está indevidamente ocupada por construções e vias.

Figura 4b – Ocupação do solo nos espaços de APPs na malha urbana de Floriano – PI em 2020.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

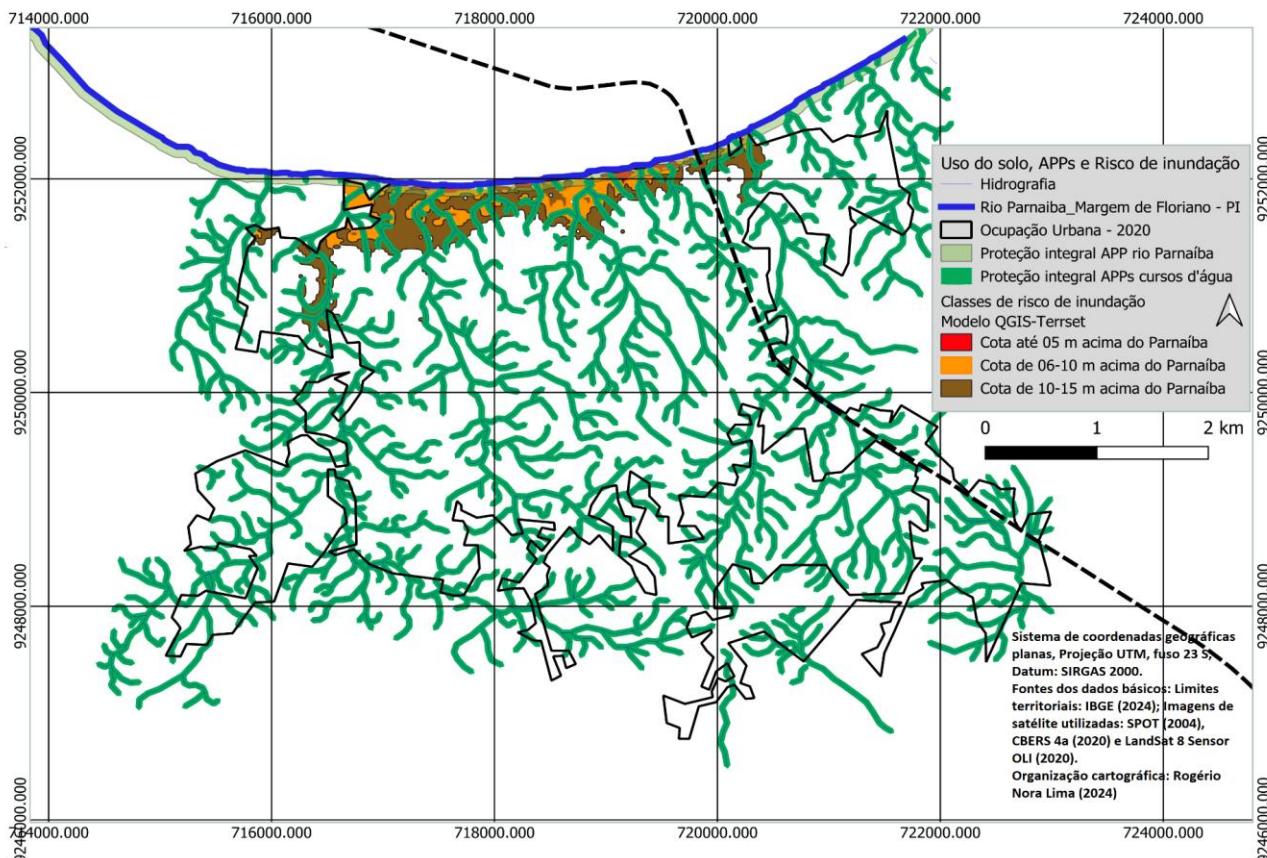
Figura 5 – Simulação da ocupação ideal dos espaços de APPs na malha urbana de Floriano – PI.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Identificou-se que muitas APPs mapeadas coincidem com espaços de risco considerável para efeitos de inundações (Figuras 6a e 6b; tabelas 5 e 6), totalizando 331,88 ha (soma dos resultados obtidos nos dois modelos de análise).

Figura 6a – Sobreposição dos espaços legais de APPs com áreas de risco para inundações em Floriano – PI considerando o modelo QGIS-Terrset que enfatiza as cotas altimétricas.



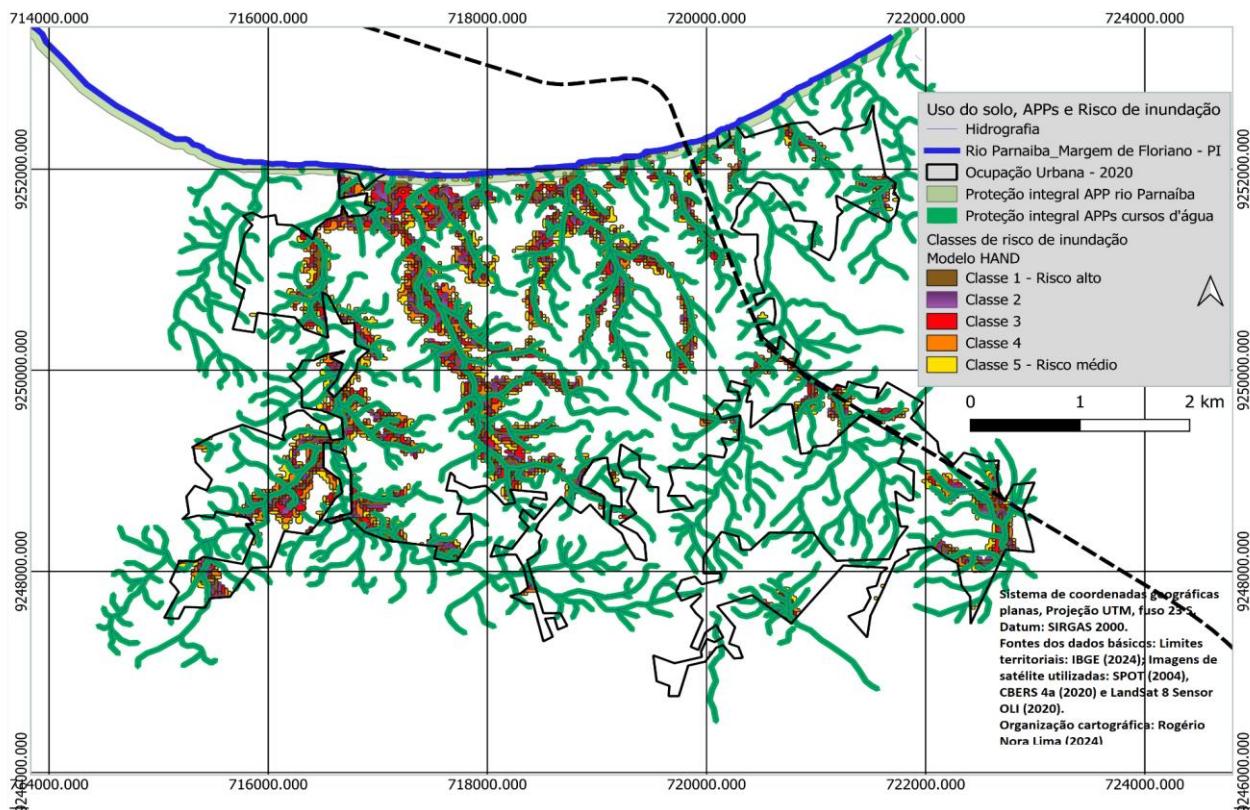
Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Tabela 5 - Simulação do risco de inundações (modelo QGIS/TerrSet) nos espaços destinados às APPs baseado em cotas altimétricas que estão entre 05 e 15 metros acima do rio Parnaíba em Floriano – PI (Modelo QGIS-Terrset).

Área urbana e respectivas cotas altimétricas acima do rio Parnaíba	Área ocupada (ha)
Até 5 metros acima do rio Parnaíba	03,35
De 05 a 10 metros acima do rio Parnaíba	26,30
De 10 a 15 metros acima do rio Parnaíba	35,68
Total	65,33

Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 6b – Sobreposição dos espaços legais de APPs com áreas de risco para inundações em Floriano – PI considerando o modelo HAND que enfatiza cotas altimétricas ponderadas com os padrões de relevos.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

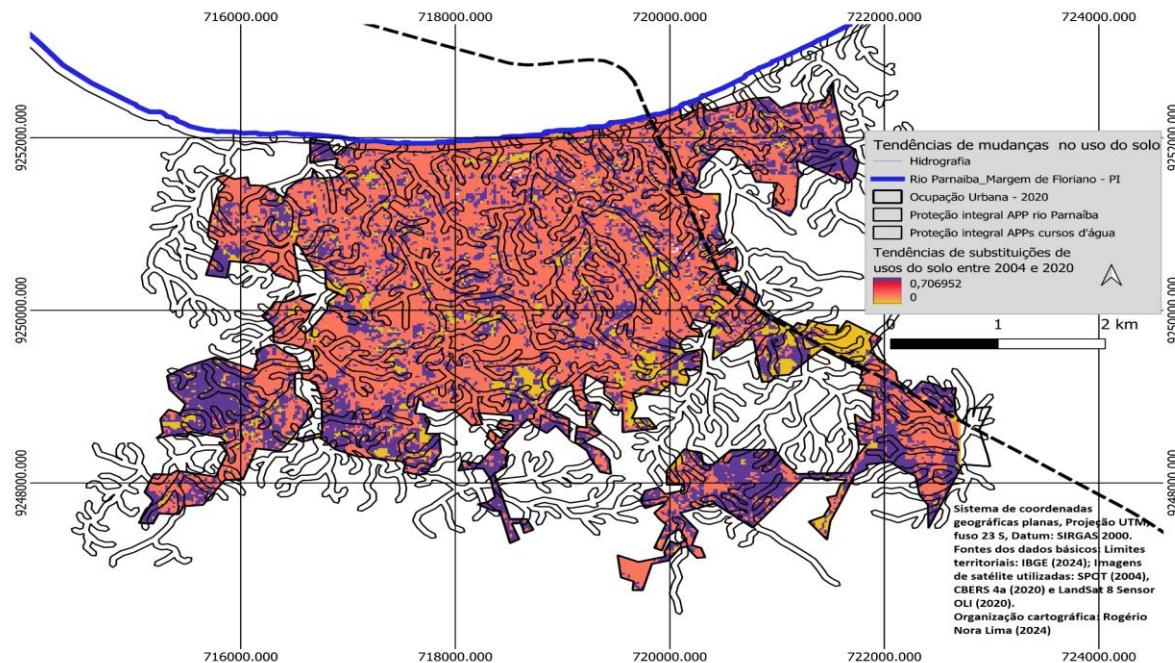
Tabela 6 - Simulação do risco de inundações nos espaços destinados às APPs (modelo HAND) em Floriano – PI.

Classe de risco de inundações	Área ocupada (ha)
1 – Alto risco de inundações	36,84
2	43,56
3	65,66
4	60,01
5 - Risco médio	60,48
Total da área de inundação (classes 1 a 5)	266,55

Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

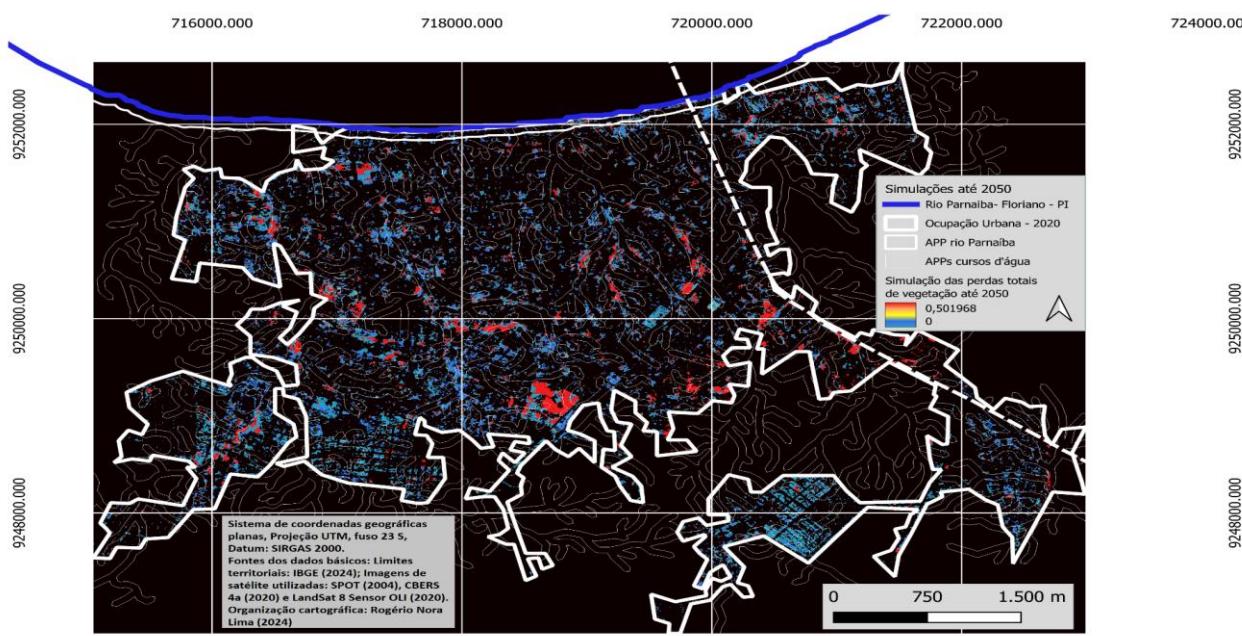
Parte da orla do rio Parnaíba mais próxima ao centro antigo de Floriano possui antigo uso consolidado, impedindo a sua desocupação e restauração da vegetação nativa. Nesse âmbito, a figura 7 exprime, principalmente nos tons laranjas e lilás, as áreas com probabilidades médias e altas, respectivamente, de serem substituídas por áreas urbanizadas (valores maiores na escala da figura). As simulações sobre tendências de avanço ou progressão da malha urbana demonstram que ela tende a avançar sobre diversas localidades com vegetação densa e mais conservada, incluindo áreas da orla do rio Parnaíba (figuras 8a e 8b).

Figura 7 – Simulação das alterações até 2050: áreas com maior probabilidade de sofrerem substituição.



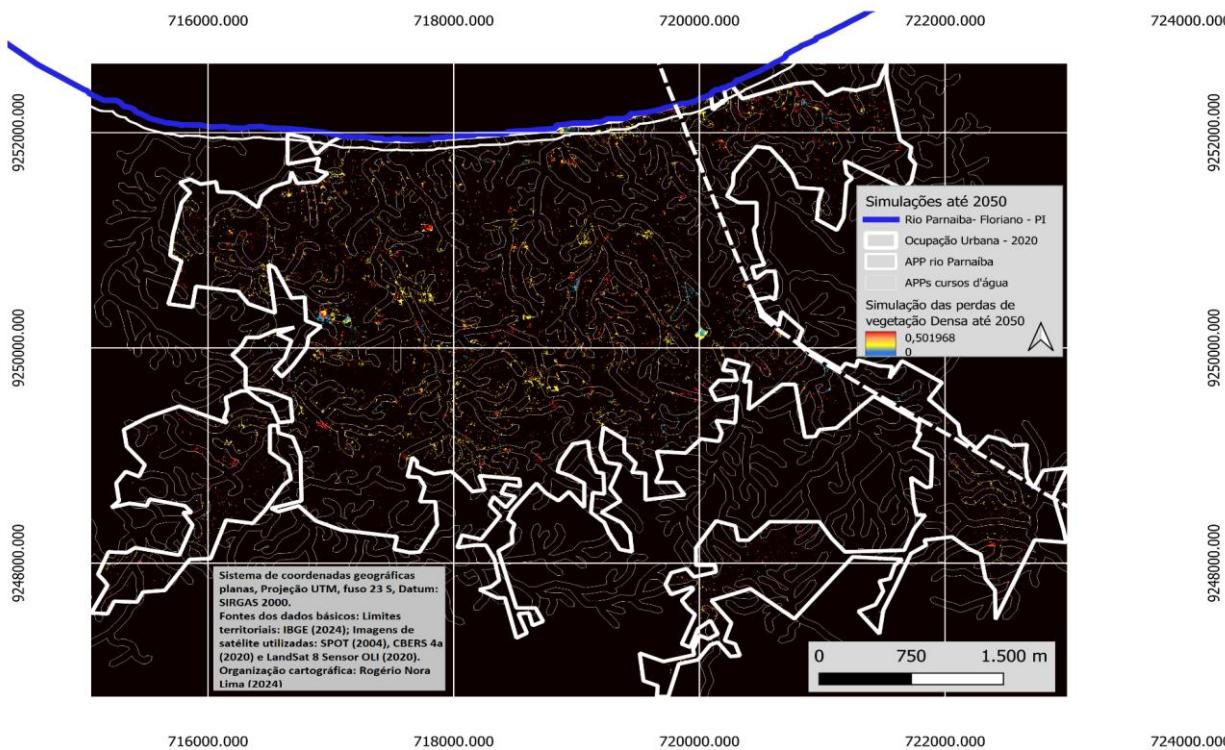
Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 8a - Modelagem do cenário de modificação na área de estudo até 2050: tendência de as áreas com vegetações herbáceas ou densas serem modificadas para usos de menor qualidade ambiental.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

Figura 8b - Modelagem do cenário de modificação na área de estudo até 2050: tendência de as áreas com vegetação densa/conservada serem modificadas para usos de menor qualidade ambiental.



Fonte: Autoria própria baseada em processamento e análises realizadas em SIGs (2024).

4 DISCUSSÃO

Os resultados revelam que houve uma expansão da área urbanizada sobre porções compostas por elementos naturais e seminaturais da paisagem local. Muitos desses espaços convertidos ocorrem em áreas sensíveis, como APPs e/ou áreas inundáveis. Dessa forma, com essas informações é possível orientar políticas públicas de ordenamento e zoneamento territorial com vistas a amenizar e prevenir os efeitos indesejáveis associados às mudanças climáticas.

As áreas, de risco alto a médio, identificadas nas figuras 2a e 2b e nas tabelas 1 e 2 totalizam 579,15 ha e estão dispostas, em geral, ao largo das principais malhas hídricas, sendo muitas delas em condições de elevada densidade de urbanização habitacional e/ou de comércio.

Conforme demonstrado nos resultados houve um expressivo aumento na área municipal urbanizada no período analisado, com a cobertura vegetal sendo gradativamente transformadas em terrenos sem cobertura vegetal ou em pastos com muitas espécies invasoras, tornando mais fácil o processo de transformação em áreas ocupadas pela construção civil (áreas efetivamente urbanizadas).

De forma semelhante ao exposto acima ocorreu com a vegetação dos espaços legalmente destinados às APPs (BRASIL, 2012), com o espaço total que deveria ser ocupado por ecossistemas nativos nas APPs de matas ciliares porém, menos de 1/5 destes espaços estão efetivamente protegidos

por cobertura vegetal densa relativamente conservada e o restante são áreas irregularmente alteradas/urbanizadas, demonstrando que as áreas inundáveis e as APPs estão severamente agredidas por atividades antrópicas relacionadas à ocupação urbana, embora no período analisado tenha havido uma recuperação de áreas com vegetação densa e melhor conservada.

É grave o fato de que parte considerável do espaço antes coberto por vegetação herbácea foi convertido em área urbanizada, pois essa cobertura verde poderia acelerar a restauração da vegetação nativa. Além disso, a ocupação dessas áreas por residências e outras construções expõe a população aos riscos de inundações e impede que a vegetação exerça seus serviços ecossistêmicos associados à regulação do ciclo hidrológico, tal como a absorção da água da chuva e a contenção da erosão do solo (TÔSTO et al, 2011). Nesse contexto, caso esses espaços de APPs fossem efetivamente protegidos poderia ocorrer um incremento de mais de 82% em áreas de vegetação e ecossistemas prestadores de serviços ecossistêmicos distribuídos por toda a paisagem urbana.

Assim, como demonstrado pela simulação exposta na figura 5 há muitas irregularidades quanto à ocupação dos espaços nas áreas urbanas, pois os espaços destinados às APPs urbanas onde ocorrem os ecossistemas ripários de matas ciliares estariam deveriam estar plenamente protegidos conforme o que preconiza o Código Florestal Brasileiro no seu artigo 1º., parágrafo único, inciso IV. Importante salientar que, conforme este dispositivo legal impõe-se ao Estado brasileiro e aos seus componentes a obrigação de restauração as áreas de proteção permanente (BRASIL, 2012).

O risco de ocupação dessas áreas é um dos motivos pelos quais a Lei de parcelamento do solo urbano (BRASIL, 1979) e outras leis mais antigas já se preocupavam em evitar a ocupação de várzeas e próximas de cursos d'água (MOREIRA et al., 2021).

Conforme está apresentado nas figuras 7 a 9 boa parte da orla municipal está ocupada por ocupações antigas e consolidadas, o que inviabiliza a plena restauração dos ecossistemas originários. No entanto, as demais áreas da orla municipal, ainda não densamente ocupadas, podem ter a sua ocupação preventivamente planejada para atuarem como zonas “esponjas”, mitigando eventuais situações de inundações que afetariam de forma mais grave as áreas urbanizadas. Esse aspecto é ainda mais relevante quando se consideram as simulações realizadas para estimar as tendências de ocupação urbana até 2050.

Um outro aspecto a ser destacado é que muitas das localidades expostas nas figuras 7 a 9 ocorrem nas proximidades dos cursos d'água que percorrem a área urbana, logo próximos de APPs e com riscos de inundações, seja na orla do rio Parnaíba, seja em outras localidades, incluindo também regiões mais altas de nascentes e cabeceiras de cursos d'água, que são áreas sensíveis, de recarga de aquíferos e que exercem diversos serviços ecossistêmicos relacionados ao ciclo hidrológico

(ERNSTSON et al, 2010). Em complemento a isso, as simulações sobre as tendências de expansão da malha urbana apontam que esta provavelmente ocorrerá sobre porções ainda relativamente conservada e com vegetação densa e de maior qualidade ambiental, comprometendo habitats mais ricos e que, por seu porte, realizam serviços ecossistêmicos mais variados e mais complexos (TÔSTO et al, 2011).

Com essas análises foram identificadas as áreas críticas de perda de cobertura vegetal, o que poderá ocasionar diversas situações indesejáveis, como a impermeabilização do solo e o adensamento da ocupação humana, aumentando os fatores de risco para inundações, além da perda de serviços ecossistêmicos e da qualidade ambiental realizada pelas áreas verdes urbanas (BARGOS; MATIAS, 2011).

Um dado crítico para a análise de risco é o limiar estabelecido pela CHESF (2024), que considera inundações em Floriano quando o rio Parnaíba atinge 8 metros acima de sua cota média padrão. Nas chuvas de verão em 2025 o nível do rio chegou próximo a 6 metros, um valor alarmante dado que o modelo QGIS-Terrset identificou 58,12 ha de áreas urbanizadas vulneráveis já em cotas inferiores a 10 metros (Tabela 1). Isso significa que, mesmo sem atingir o limiar crítico da CHESF, eventos extremos podem comprometer áreas habitadas, especialmente considerando que: projeções climáticas indicam aumento na frequência de chuvas intensas (CHOU et al., 2014), a ocupação de APPs (412,67 ha) eliminou a capacidade natural de amortecimento de cheias e que a simulação até 2050 (Figuras 7-8b) aponta expansão urbana sobre zonas de risco.

Como consequências, se o rio atingir 8 metros pode ocorrer a inundação de infraestruturas críticas [já que 7,35 ha de áreas já ocupadas estão abaixo de 5 metros de cota (Tabela 1), incluindo vias e comércios], a perda de serviços ecossistêmicos devido à supressão de vegetação herbácea (que reduziu a infiltração em 92,09%) agravando o escoamento superficial e a afetação de bens públicos e particulares, incluindo os riscos às vidas humanas.

Esses dados reforçam a necessidade de integrar critérios hidrológicos e topográficos no planejamento urbano, conforme proposto por ALEXANDER et al. (2018) e CUARTAS et al. (2012).

A recuperação parcial da vegetação densa (Tabela 4) sugere que ações pontuais de restauração podem ser eficazes, mas a simulação até 2050 alerta para a urgência de medidas preventivas. A criação de zonas "esponja" na orla peri-urbana do rio Parnaíba, como proposto no estudo, alinha-se às estratégias de infraestrutura verde defendidas por ERNSTSON et al. (2010) e BARGOS & MATIAS (2011), que associam áreas verdes à redução de riscos e à melhoria da qualidade de vida.

Por exemplo, a confirmação da ocorrência de áreas de risco em locais destinados às APPs, mas que já estão degradadas (331,88 ha) exige a revisão do Plano Diretor Municipal, com fiscalização rigorosa e incentivos à preservação. Experiências como as citadas por PERES et al. (2018) em São

Carlos-SP demonstram que a gestão participativa e o monitoramento contínuo são essenciais para conciliar desenvolvimento urbano e sustentabilidade.

Nesse âmbito, considerando o planejamento ambiental integrado do espaço urbano (PARMIGIANI; SANSOLO, 2017) a implantação de uma rede de áreas verdes urbanas, compostas pelos espaços obrigatórios das APPs e das áreas inundáveis/brejos pode ajudar a reverter a baixa cobertura vegetal atual. Essa abordagem propicia ainda a restauração de diversos serviços ecossistêmicos associados aos ecossistemas dessas áreas, dentre eles a maior infiltração de águas pluviais que, por sua vez, contribui para a mitigação das inundações e aumenta a recarga dos aquíferos. Esses aspectos são fundamentais, pois a proximidade de corpos d'água, a impermeabilização do solo e a topografia baixa em relação aos rios são fatores-chave que contribuem para o aumento do risco de inundações urbanas (HAINES-YOUNG; POTSCHEIN, 2018).

Como medidas de manejo preventivo, recomenda-se: a restauração urgente de APPs, priorizando as áreas com risco alto (118,32 ha pelo modelo HAND) e cotas abaixo de 10 metros; o estabelecimento de sistemas de alerta precoce e o monitoramento os níveis do rio em tempo real, integrando dados da CHESF e defesa civil; produzir um zoneamento das áreas de risco, proibindo novas ocupações em áreas abaixo de 8 metros e criar parques lineares em várzeas, conforme proposto por TUCCI (2020); e realizar campanhas educativas, envolvendo a população no mapeamento de áreas de risco, como feito em projetos piloto no semiárido (PERES et al., 2018).

Dessa maneira, poderia ser estabelecido um modelo de gestão de recursos hídricos (*sensu* PERES et al, 2018 ou outro atualmente aceito) que torne essas as APPs e/ou várzeas como prioritárias para preservação e restauração, com vistas a aumentar resiliência urbana, evitando que importantes infraestruturas sociais como hospitais e escolas, comércios e bairros populosos sejam afetadas por eventos extremos.

5 CONCLUSÃO

A análise dos dados evidenciou os desafios enfrentados pela cidade, como o crescimento urbano desordenado, pois a ocupação dos espaços de APPs no município aumentou 54,75% entre 2004 e 2020 e as áreas com vegetação herbácea diminuíram 92,09%; apenas 08,65% das APPs possui vegetação relativamente conservada. Esse padrão se coaduna com a ocupação em geral da área urbana que cresceu de 928,96 ha em 2004 para 1.303,39 ha em 2020, principalmente nas áreas da vegetação herbácea, as quais decaíram de 567,70 ha para 53,16 ha.

Há porções consideráveis do espaço urbano que estão sujeitas aos eventos climáticos extremos (quase 580 ha) que podem ser agravados supressão da vegetação, causando impermeabilização do solo

e vulnerabilidade às inundações. Dessas áreas 331,91 ha coincidem com APPs e/ou áreas inundáveis que não deveriam ser ocupadas pela urbanização.

Essas informações contribuem para o avanço do conhecimento científico sobre uso do solo, a ocupação de várzeas urbanas e a gestão de riscos, com a geração de informações aplicáveis na gestão pública de Floriano e em outras áreas com desafios semelhantes. A simulação de cenários até 2.050 com a substituição dos ecossistemas por áreas urbanizadas aponta para o avanço na ocupação das áreas mais sensíveis identificadas e os riscos de inundações podem ter seus efeitos mitigados por políticas públicas e ações de gestão ambiental a serem concretizadas conjuntamente pelos diversos atores sociais locais.

É essencial o mapeamento da infraestrutura verde urbana e a implantação de uma rede de áreas verdes, principalmente na orla do rio Parnaíba, onde ainda não há ocupações consolidadas, reduzindo a pressão sobre os sistemas de drenagem. As áreas remanescentes e os espaços de APPs já identificados nesse estudo podem servir de base para essa iniciativa. Os mapeamentos auxiliarão a prever e mitigar desastres, demarcando claramente as áreas de uso restrito e desenvolvendo planos de contingência com medidas de evacuação e socorro.

Deve-se incentivar a adesão da população à gestão ambiental com incentivos fiscais para proprietários de terras que mantêm áreas verdes. É importante atualizar periodicamente o Plano Diretor Municipal, regulamentando a ocupação urbana e divulgando-o em campanhas de informação para a população; estimular os debates públicos, em parcerias com instituições locais (IBGE, Ministério Público, UFPI, Colégio agrícola federal e Instituto Federal), incorporando as preocupações da comunidade, com soluções colaborativas dos diferentes atores sociais locais. E ainda incrementar o monitoramento e controle do desmatamento e ocupações ilegais.

Esses pontos devem ser abordados nas escolas, em aulas sobre sustentabilidade, proporcionando experiências na natureza, diversificando o currículo escolar. Essas políticas públicas e ações de gestão ambiental visam mitigar os impactos negativos do crescimento urbano desordenado e promover um desenvolvimento sustentável e resiliente e requer a colaboração de diversos atores locais. Com isso, a cidade de Floriano pode solucionar boa parte dos conflitos entre desenvolvimento urbano e qualidade ambiental, tornando-se um exemplo de gestão ambiental integrada para outras regiões em seus contextos locais.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. C. et al. Featured collection introduction: connectivity of streams and wetlands to downstream waters. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 54, n. 2, p. 287–297, 2018.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: Um estudo de revisão e propostas conceituais. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 6: no. 3, p. 172-188, 2011.

BLACKWELL, M. S. A. et al. Ecoflood guidelines: how to use floodplains for flood risk reduction. Wageningen, Ecoflood Project. 144 p., 2006. Disponível em: https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/yccares/pages/20/attachments/original/1498666598/EU_Ecoflood_Guidelines_how_to_use_floodplains_for_flood_risk_reduction_compressed.pdf?1498666598. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm. Acesso em: 10 mai. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo Código florestal brasileiro. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaactualizada-pl.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2024.

BUISSON, E. et al. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. *Biological Reviews*, v. 94, n. 2, p. 590–609, 2019.

CIDADE VERDE. GOVERNO federal mapeia 47 municípios com risco para desastres ambientais no Piauí. Cidade Verde [online]. Disponível em: <https://cidadeverde.com/noticias/414013/governo-federal-mapeia-47-municipios-com-risco-para-desastres-ambientais-no-piaui-veja-lista>. Acesso em: 28 mai. 2024a.

CIDADE VERDE. DEFESA civil realiza simulado de evacuação na represa de Boa Esperança. Cidade Verde [online]. Disponível em: https://cidadeverde.com/noticias/414177/defesa-civil-realiza-simulado-de-evacuacao-na-area-proxima-a-usina-de-boa-esperanca-em-guadalupe#google_vignette. Acesso em: 28 mai. 2024b.

CHESF. Companhia Hidro-Elétrica do rio São Francisco. Volume VII: Plano de ação de emergência. In: Usina Hidrelétrica Boa Esperança: Plano de segurança de barragens. UHE Boa Esperança. 96p. 2024. Disponível em: https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Documents/PAE_EXTERNO_UHE_PEDRA.pdf. Acesso em: 10 mai. 2024.

CHOU, C.S. et al. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 3, p. 512-525, 2014.

CUARTAS, L. A., NOBRE, A. D., HODNETT, M. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, p. 13–29, 2012.

EASTMAN, J. R. TerrSet: Geospatial monitoring and modeling system. User's manual, Clark Labs – Massachusetts: Clark University. 393 p. 2016.

ERNSTSON, H.; BARTHEL, S.; ANDERSSON, E. Scale-crossing brokers and network governance of urban ecosystem services: The case of Stockholm. *Ecology and Society*, v.15, n. 04, p. 1-25, 2010.

HAINES-YOUNG, R. & POTSCHIN, M. B. Common international classification of ecosystem services (CICES) V5.1 Guidance on the application of the revised structure. 2018. Disponível em: <<https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>> Acesso em: 28 mai. 2024

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e estados do Brasil. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/floriano>. Acesso em: 03 jun. 2024.

MOREIRA, K. S. et al. A evolução da legislação ambiental no contexto histórico brasileiro. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 2, p. 1–21, 2021.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4^a ed. Viçosa: Editora UFV, 422 p. 2011.

OLIVEIRA, B. L. Potencial das árvores urbanas na regulação hídrica em ruas da cidade do Recife - PE. 52 p. il. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2019.

PARMIGIANI, R. & SANSOLO, D.G. Uma análise das florestas urbanas sob a perspectiva da ecologia da paisagem: Um estudo de caso no município do Guarujá-SP. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.10, n. 1, 296-303, 2017. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170017>.

PERES, R. B. et al. Qualificação de áreas verdes na cidade de São Carlos (S.P.): análise de usos e propostas de gestão ambiental com foco na microbacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v.30, n.1, p. 158-182, 2018.

TÔSTO, S. G. et al. O valor econômico de serviços ecossistêmicos de mata ciliar. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, Campinas, Embrapa monitoramento por satélite, 2011. 25 p.: il. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/921168/valor-economico-de-servicos-ecossistemicos-de-mata-ciliar>. Acesso em: 10 mai. 2024.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4^a ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRHidro, 2020. 943 p.