



A matriz hidrográfica da região de Carajás: um estudo sobre unidades fluviais e pressões espacialmente explícitas na paisagem

The Carajás region hydrographic matrix: a study on fluvial units and spatially explicit pressures in the landscape

Keid Nolan Silva Sousa – Doutorado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa). Professor Titular do Instituto de Estudos em Saúde e Biológicas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa). E-mail: keid.sousa@unifesspa.edu.br.

Resumo

O estudo delineou a matriz hidrográfica da região de Carajás a partir do reconhecimento de unidades fluviais, *drives* e pressões territoriais espacialmente explícitas referenciados pelo modelo de indicadores de pressão-estado-impacto-resposta (DPSIR). A combinação dos modelos de elevação global ajustados para a hidrografia, com fatores espaciais (pressão + componentes da paisagem), gerou a matriz da paisagem na região de Carajás, delimitando quatro unidades fluviais: Araguaia, Tocantins, Itacaiúnas e Xingu. Os resultados poderão constituir um quadro referencial de indicadores DPSIR como apoio à governança hídrica regional e mapeamento das vocações territoriais na matriz, apoiando estudos de viabilidade territorial de cadeias da bioeconomia bioecológica dos serviços de provisão de alimentos de origem aquática (pesca e aquicultura); dos serviços de lazer e turismo (turismo e pesca esportiva); da viabilidade territorial da pesca e aquicultura de peixes ornamentais; e por fim recuperação de remanescentes fluviais como estratégia de preservação e conservação em áreas antropizadas.

Abstract

The study outlined the hydrographic matrix of the Carajás region based on the recognition of river units, *drives* and spatially explicit territorial pressures referenced by the DPSIR indicator model. The combination of global elevation models adjusted for hydrography, with spatial factors (pressure + landscape components), generated the landscape matrix in the Carajás region, delimiting four fluvial units: Araguaia, Tocantins, Itacaiúnas and Xingu. The results could constitute a referential framework of DPSIR indicators in support of regional water governance and mapping of territorial vocations in the matrix, supporting territorial viability studies of bioecological bioeconomy chains of aquatic food supply services (fishing and aquaculture); leisure and tourism services (tourism and sport fishing); the territorial viability of fishing and aquaculture of ornamental fish; and finally recovery of river remnants as a preservation and conservation strategy in anthropized areas.

Palavras-chave

Amazônia. Unidades fluviais. Pressões territoriais. Governança hídrica. Região de Carajás.

Keywords

Amazon. Fluvial units. Territorial pressures. Water governance. Carajás region.

INTRODUÇÃO

Segundo Ahern (1999) o planejamento da paisagem pode ser definido como a prática de planejamento para o uso sustentável dos recursos físicos, biológicos e culturais. O planejamento sustentável da paisagem tem sido fortemente apoiado pelos principais acordos de política internacional e pode ser geralmente definido como “uma condição de estabilidade nos sistemas físicos e sociais alcançada ao acomodar as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades”.

A busca por indicadores que permitam delinear cenários, sobretudo cenários territoriais, têm sido frequentemente empregadas pela União Europeia para delinear cenários de planejamento e tomadas de decisão. Segundo a OECD (2018), enfrentar os desafios futuros da água levanta não só a questão de “o que fazer?”, mas também as de “quem faz o quê?”, “o porquê?”, “a que nível de governo?” e “como?”. Não há uma solução única que sirva de forma universal para todos os tipos de desafios, mas sim uma grande diversidade de situações em cada país e entre os vários países. Reconhece-se que a governança é altamente contextual, que as políticas públicas têm de ser adaptadas a recursos hídricos e a territórios distintos, e que os modelos de governança se têm de adaptar à evolução das circunstâncias. Na escala global, essa preocupação vem sendo apontada como parte dos desafios estratégicos para o desenvolvimento sustentável da população humana.

Uma das metas para melhorar a governança da água no mundo é aumentar o número de planos de gestão de bacias hidrográficas. A exemplo disso no Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) dentro de suas competências já estabeleceu as unidades de planejamento hídrico como subdivisões das bacias hidrográficas definidas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos; e delimitadas por bacias ou sub-bacias hidrográficas de rios afluentes ou segmentos das bacias dos rios principais, com continuidade espacial. São unidades espacialmente delimitadas para subsidiar a definição da mínima área de abrangência de um plano, consideradas as necessidades de integração da política nacional com as políticas estaduais e municipais.

Apesar desse quadro de premissas e regulações institucionalizadas, na prática, aspectos basais como delimitação de unidades espaciais de planejamento para implementação de instrumentos de monitoramento não convergem. Isto se dá devido a vários fatores, incluindo conflitos de interesse e objetivos entre as diferentes escalas de regulação. De todo modo, o Estado brasileiro se configura por meio de grandes e diferentes desafios para gestão regional, principalmente focados nas vocações econômicas e naturais, nas formas de ocupação dos territórios e paisagens, na complexidade e magnitude dos estressores dos sistemas aquáticos.

Segurado *et al.* (2021), avaliando os efeitos de múltiplos estressores sobre sistemas aquáticos, destacaram que os habitats de água doce abrigam uma biodiversidade desproporcionalmente alta, dada a área total que cobrem em todo o mundo, hospedando 10% de todas as espécies, ocupando menos de 1% da superfície da Terra. Apesar da crescente conscientização de governança em muitas partes do mundo, os ecossistemas de água doce estão longe de serem recuperados e mais propensos a serem expostos a novos estressores, dada a escalada de ameaças emergentes. Os autores terminam sua revisão, discutindo recomendações de gestão e governança para mitigar o problema de poluição difusa de terras agrícolas e pastagens, como a necessidade de reforçar o foco em variáveis bióticas e subterrâneas.

Walmsley (2002), empregando o modelo *Driving Force – Pressure – State – Impact – State – Response* (DPISR), discutiu que a gestão integrada de bacia representa uma abordagem para gerenciar os recursos de uma bacia, integrando questões ambientais, econômicas e sociais. O quadro indicador de pressão-estado-impacto-resposta (DPSIR) foi utilizado para identificar e aprimorar indicadores de desenvolvimento sustentável para os gestores, e com isto apoiar na obtenção de benefícios sustentáveis para as gerações futuras, proteger os recursos naturais, particularmente a água, e minimizar possíveis consequências sociais, econômicas e ambientais adversas.

Essa busca também se reflete na Amazônia legal onde a sustentabilidade e a conservação de sua riqueza natural deparam-se com usos e interesses múltiplos pelos recursos naturais gerando conflitos nas mais diferentes escalas de complexidade. Neste quadro, certamente a água e os recursos aquáticos estão entre os mais estratégicos para o desenvolvimento nacional e regional. No foco dessa discussão, o sistema fluvial amazônico na sua escala continental é o retrato deste cenário de complexidades territoriais espacialmente explícitas. É constituído do corredor fluvial principal do rio Amazonas e suas bacias de tributários conectadas como os rios Negro, Purus, Madeira, Xingu, Tapajós e Tocantins. São paisagens fluviais, constituídas por mosaicos de paisagem em diferentes estágios de evolução e dinâmica, que merecem atenção gerencial específica, preferencialmente baseada em planejamentos regionais mais adequados com as suas respectivas vocações territoriais, sobretudo nas regiões de fronteira ecossistêmica, nas bordas do bioma Amazônia.

É o caso da borda oriental do bioma Amazônia, limitado pelo corredor fluvial Araguaia, que nem faz parte integralmente da bacia Amazônia, mas é a última fronteira ecossistêmica daquele bioma. Esta fronteira abrange a região de Carajás e guarda características estratégicas para o desenvolvimento regional,

com destaque para a configuração das bacias hidrográficas e para os elementos fluviais que compõem a região. Barbosa *et al.* (no prelo) ressaltam que a região de Carajás abrange, na totalidade, 32 municípios, uma extensão de 239 mil km², que corresponde a cerca de 19% dos 1,2 milhão de km² do Estado do Pará, e 5% dos 5 milhões de km² aproximados da Amazônia Legal. A extensão por si só é um dado considerável da geografia regional de Carajás, mas não faz sentido para a análise geográfica se não for contextualizada a partir da diversidade de processos e formas naturais e sociais que fazem dessa região um espaço peculiar.

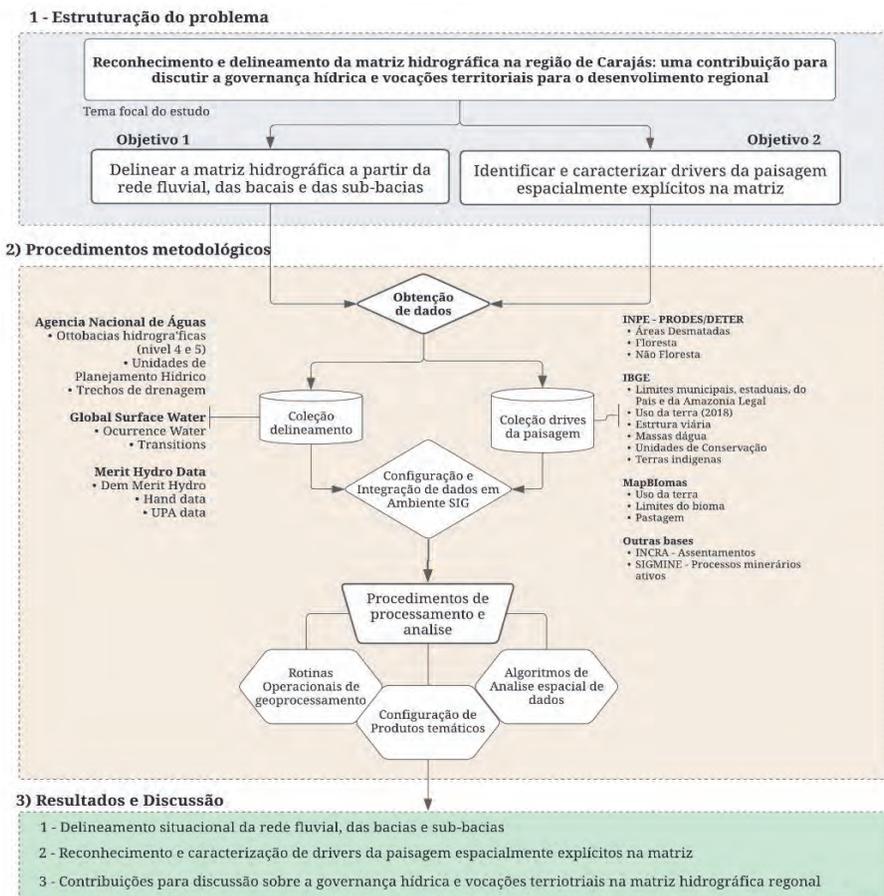
Para Monteiro e Silva (2021), a configuração do território de Carajás foi um processo fruto de ajustes espaçotemporais que requereu a constituição de infraestruturas espaciais, sociais e físicas, seguras e de longo prazo, articuladas a uma série de fatores: uma economia de base primária, vinculada, sobretudo, à pecuária bovina e à mineração; o estabelecimento de uma rede urbana integrada, econômica, social, política e culturalmente capaz de ordenar o espaço social; a generalização regional de práticas sociais; a criação de uma economia espacialmente hierarquizada, apta a mobilizar, extrair e concentrar parte do produto excedente gerado; a constituição de elites econômica, política e culturalmente identificadas com a região; o estabelecimento de grupos que constituem resistência à homogeneização e à hegemonia. Certamente as respostas territoriais têm efeito sobre a configuração hidrográfica regional, sobretudo pela importância socioambiental, como fontes de serviços ecossistêmicos e como áreas estratégicas para segurança hídrica regional.

Nesse contexto, o reconhecimento da matriz hidrográfica é um instrumento de suporte para proposição de estratégias de governança, planejamento e desenvolvimento regional. É também chave para a composição de modelos de indicadores para a gestão territorial, preconizando um dos grandes desafios para a manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais fornecidos por rios, lagos e cursos d'água de superfície. Neste cenário, o presente estudo propõe uma análise da matriz hidrográfica da região de Carajás a partir do reconhecimento de unidades fluviais, *drives* e pressões espacialmente explícitas referendados pelo modelo de indicadores DPSIR.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo conceitual adotado neste estudo organizou-se em três fases subsequentes iniciando pela estruturação e definição do problema (tema foco da pesquisa), seguida pelo delineamento dos procedimentos metodológicos e, por fim, a apresentação dos resultados e discussão (Figura 1).

Figura 1 - Modelo conceitual da pesquisa considerando estruturação do problema, procedimentos metodológicos, resultados e discussão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os procedimentos metodológicos foram organizados em três etapas principais: 1) obtenção de dados; 2) configuração e integração de dados em ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG); e 3) procedimentos de processamento e análise. O processo para obtenção dos dados resumiu-se em duas coleções principais denominadas de coleção de delineamento e coleção de *drivers* da paisagem. A coleção de delineamento obteve bases de dados suficientes para proceder com o delineamento da matriz hidrográfica de Carajás, área focal do presente estudo. Foram utilizadas como referências as seguintes coleções abertas de dados: 1) Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA, 2015); 2) Global Surface Waters - EC JRC/Google (EC JRC/GOOGLE, 2021); e 3) Global Hydrography datasets - MERIT DEM (YAMAZAKI *et al.*, 2019).

O ambiente computacional para realização deste estudo foi executado em forma de SIG, configurado no software QGIS Versão 3.24.1 Tysler. O SIG adotou como sistema de referências cartográficas (SRC) o SIRGAS 2000, com coordenadas geográficas. Os procedimentos de processamento e análise de dados foram organizados por meio de rotinas operacionais básicas de geoprocessamento; da execução e algoritmos de análise espacial e configuração de produtos temáticos (mapas com representação espacial dos recortes de interesse e respectivos atributos de análise). Essa sequência culminou nas seguintes etapas de execução metodológica: 1) reconhecimento e proposição de unidades fluviais e 2) delimitação situacional de rede fluvial, bacias e sub-bacias.

A matriz hidrográfica foi definida considerando a seguinte composição geomorfológica: a) corredores fluviais principais – correspondem a corpos d'água de maior volume de água, encaixados com morfologia fluvial definida nas cotas de elevação do terreno (metros); e b) canais de drenagem – cursos d'água situados na área de drenagem da bacia, correspondente aos trechos de drenagem disponíveis nas seguintes coleções:

a) Divisão hidrográfica, corpos hídricos superficiais e dominialidades (ANA, 2015) - A Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do mapeamento sistemático brasileiro. A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter, e classificação de 1ª a 8ª ordem de Sthraler.

b) O MERIT DEM - Multi-Error-Removed Improved-Terrain (YAMAZAKI *et al.*, 2019). O MERIT DEM foi desenvolvido removendo vários componentes de erro (viés absoluto, ruído de faixa, ruído de “speckle” e viés de altura de árvore) dos DEMs espaciais existentes (SRTM3 v2.1 e AW3D-30 m v1). Ele representa as elevações do terreno em uma resolução de 3 segundos (~90 m no equador), e cobre áreas de terra entre 90N-60S, referenciado ao geóide EGM96A resolução espacial do MERIT DEM é de 3 segundos de arco (~90 m no equador) e cobre todo o globo, exceto a Antártida (entre 90°N e 60°S) (YAMAZAKI *et al.*, 2019).

c) Global Surface Waters (GSW) (EC JRC/GOOGLE, 2021) - A ocorrência hídrica mostra onde ocorreram as águas superficiais entre 1984 e 2020 e fornece informações sobre a dinâmica global da água. Este produto capta

tanto o valor intra quanto o interanual, a variabilidade e as mudanças hídricas, seguindo os procedimentos adotados por Pekel *et al.* (2016).

Assim, o delineamento das unidades fluviais foi obtido a partir da combinação das divisões de bacias e sub-bacias adotadas pela ANA, levando em conta o modelo de otobacias nível 4 e 5 do IBGE, a ocorrência de águas superficiais (GSW) e o modelo de elevação ajustado para cobertura hidrológica (MERIT-Hydro).

RECONHECIMENTO E COMPOSIÇÃO DO MOSAICO DA PAISAGEM

Qualificação de *drives* espacialmente explícitos na paisagem

Os *drives* utilizados neste estudo foram denominados de *drives* espacialmente explícitos, referindo-se a entidades (classes) com representação espacial, geralmente em formato poligonal. Neste caso adotando as seguintes coleções de dados:

a) Polígonos de assentamentos da reforma agrária no estado Pará, definidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) como um conjunto de unidades agrícolas e instaladas por esse instituto em um imóvel rural (INCRA, 2022).

b) Conjunto de informações referentes à classificação dos tipos de cobertura e uso da terra, voltados para a representação e análise da dinâmica do território em termos dos processos de ocupação, da utilização da terra e de suas transformações (IBGE, 2018).

c) Supressão da vegetação nativa para a Amazônia Legal (Raster) - Área total desmatada, comumente chamada de máscara de desmatamento. O mapeamento utiliza imagens do satélite Landsat ou similares, para registrar e quantificar as áreas desmatadas maiores que 6,25 hectares. O Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes) considera como desmatamento a supressão da vegetação nativa, independentemente da futura utilização destas áreas (INPE, 2021).

d) Coleções de uso e cobertura da terra do Mapbiomas User Toolkit, disponíveis para serem acessadas como asset diretamente no Google Earth Engine nos respectivos IDs de acesso no Google Earth Engine (GOOGLE, s.d).

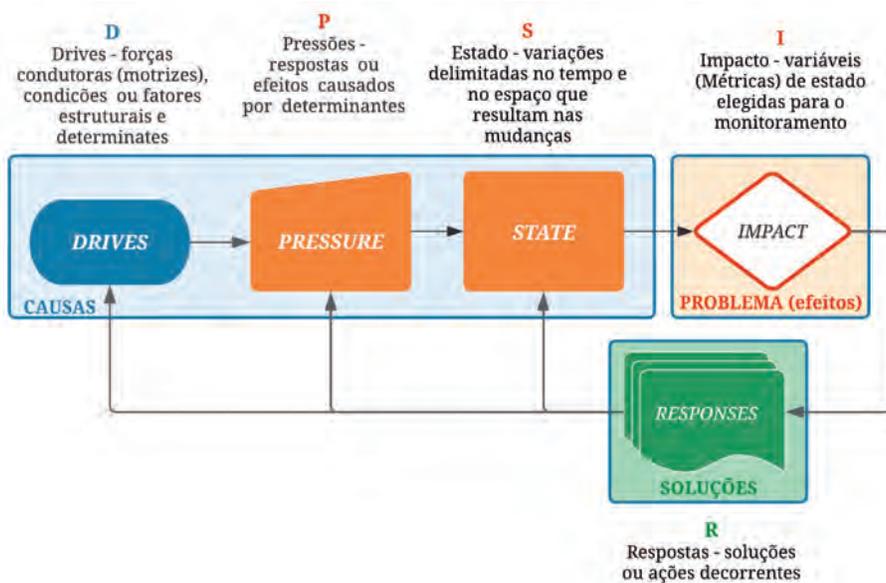
DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados espaciais representados neste estudo convergiram para interpretação da ocorrência de variáveis e atributos espacialmente explícitos dentro do recorte regional das áreas de interesse, culminando com a produção de atlas de mapas temáticos específicos de análise. Neste caso, o estudo baseou-se na qualificação e descrição geral da geoinformação considerando métodos descritivos e análises exploratórias dos dados conforme Dale e Fortin (2007). Os produtos foram configurados com layout padronizado, contemplando:

1. Mapa geral do recorte da matriz hidrográfica; e
2. Mapas de recortes das unidades fluviais e composição da paisagem.

A qualificação dos drivers e componentes da paisagem foi desenvolvida assumindo as premissas do modelo DPSIR (Figura 2), para definir *drives* e pressões espacialmente explícitas na paisagem, como demonstrado no Quadro 1.

Figura 2 - Modelo de referência DPSIR adotado para análise da matriz hidrográfica da região de Carajás.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Walmsley (2002); Apostolaki, Koundori e Pittis (2019).

Quadro 1 - Adequação de componentes do modelo DPSIR para a análise da matriz hidrográfica da região de Carajás.

| Fator | Termo do modelo | Definição adotada para variáveis espacialmente explícitas ou não) | Classificação adotada no estudo |
|----------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Causa | <i>Drivers</i> (força causal ou motriz) | Forças condutoras (motrizes), condições ou fatores estruturais determinantes. | - Rede hidrográfica - Modelo digital de elevação do Terreno |
| | <i>Pressure</i> (pressão) | Variáveis respostas ou efeitos condicionados por fatores determinantes | - Componentes espacialmente explícitos da paisagem |
| | State (estado) | Variações delimitadas no espaço e no tempo | - Não abordado no estudo |
| Problema | <i>Impact</i> (impactos) | Variáveis de estado – problemas | - Não abordado no estudo |
| Solução | <i>Response</i> (respostas) | Soluções / ações | - Não abordado no estudo |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Walmsley (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abordagem do presente estudo assume a hipótese de que a matriz hidrográfica da região de Carajás é constituída de *drives* naturais (componentes da hidrografia detectados no nível de bacias e sub-bacias) e de componentes da paisagem que incluem classes de uso e da infraestrutura do território (unidades de conservação, assentamentos, pastagem, áreas de supressão da floresta, desmatamento, Terras Indígenas). Essa proposição converge com as discussões mais recentes sobre a importância e a necessidade de investigar *drives* e estressores em ecossistemas de água doce para produzir indicadores contemporâneos de suporte à governança e ao planejamento estratégico regional.

Para Stendera *et al.* (2012), as principais hipóteses que os ecologistas estão testando em ecossistemas de água doce são originárias do século XX, definidas com foco em *drives* e estressores (pressões) pouco investigados entre diferentes escalas. Em geral, os *drives* e estressores globais mais contemporâneos são negligenciados ou não são testados em vários ecossistemas de água doce. Segurado *et al.* (2021) afirmam que os habitats de água doce abrigam uma biodiversidade desproporcionalmente alta, dada a área total que cobrem em todo o mundo, hospedando 10% de todas as espécies, ocupando menos de 1% da superfície da

Terra. Esses habitats têm sido há muito afetados por uma gama de estressores ambientais que perturbam a biodiversidade de água doce e o funcionamento do ecossistema, ameaçando assim a prestação de serviços ecossistêmicos vitais para o bem-estar humano, incluindo abastecimento de água e segurança alimentar.

Neste contexto, o presente estudo é um ensaio feito na tentativa de aplicar um filtro paisagístico vislumbrando a definição de *drives* e pressões (estressores) tendo como marco referencial a estrutura do modelo DPISR originalmente desenvolvido pela *European Environment Agency* (EEA, 1999) para produzir relatórios com a descrição de problemas ambientais, investigando as relações entre diversos setores da atividade humana e o meio ambiente como cadeias causais de problemas e soluções. Tal quadro assume que a estruturação de um conjunto integrado de indicadores simplifica a compreensão das interligações complexas entre a ação humana multissetorial e as coevoluções de estados ecológicos, econômicos e sociais (APOSTOLAKI; KOUNDOURI; PITTIS, 2019; GIUPPONI, 2002; 2007; SILVA *et al.*, 2015; WALMSLEY, 2002).

O quadro DPSIR identifica relações de causa e efeito, permite a separação de categorias de problemas, proporciona flexibilidade para uso e análise e fornece um meio pelo qual o monitoramento de sistemas hídricos pode ser sistematicamente melhorado (WALMSLEY, 2002). Conforme Feas, Giupponi e Rosato (2004) e Giupponi (2007), no modelo DPSIR as forças motrizes são as causas subjacentes que levam a pressões ambientais. Essas forças motrizes desencadeiam pressões sobre o meio ambiente, como a exploração de recursos (terra, água, minerais, combustíveis etc.) e a emissão de poluição. As pressões (estressores), por sua vez, afetam o estado do meio ambiente. Isso se refere à qualidade dos diversos vetores ambientais (ar, solo, água, etc.) e sua consequente capacidade de suportar as demandas que lhes são colocadas (por exemplo, apoio à vida humana e não humana, fornecimento de recursos, etc.). As mudanças no Estado podem ter impacto na saúde humana, nos ecossistemas, na biodiversidade, no valor da amenidade, no valor financeiro etc. O impacto pode ser expresso em termos do nível de dano ambiental. As respostas demonstram os esforços da sociedade (por exemplo, de governança, políticos, tomadores de decisão) para resolver os problemas identificados pelos impactos avaliados, por exemplo, medidas de governança, políticas e ações de planejamento (APOSTOLAKI; KOUNDOURI; PITTIS, 2019; FEÁS; GIUPPONI; ROSATO, 2004; GIUPPONI, 2002; SILVA *et al.*, 2015; WALMSLEY, 2002).

Apostolaki, Koundori e Pittis (2019) discutem uma nova abordagem holística para a gestão de bacias hidrográficas na Europa adotando conceitos

bem estabelecidos e testados baseados em indicadores, combinando o quadro DPSIR (como instrumento central para atender aos requisitos da diretiva do quadro de água e aos conceitos incorporados na gestão integrada de recursos hídricos), a abordagem de serviços ecossistêmicos e a avaliação de cenários. Nas duas bacias hidrográficas abrangidas pelo estudo, a Ebro, na Espanha, e a Evrotas, na Grécia, a implementação deste novo quadro ressaltou a necessidade de opções revisadas voltadas para a eliminação da poluição hídrica, medidas para garantir o abastecimento de água que cubra a demanda mesmo sob condições de mudança climática e aumento do estresse hídrico, bem como a urgência de uma melhor valorização dos custos ambientais e de uso de recursos.

A Figura 3 foi construída a partir de Walmlsey (2002), Silva *et al.* (2015) (2015) e Apostolaki, Koundori e Pittis (2019), para retratar o modelo DPSIR que foi elaborado com o fim de estudar a matriz hidrográfica de Carajás, buscando discutir o conjunto de fatores de causais (*Drives, Pressure, State*), os problemas decorrentes (*Impact*) e o quadro de soluções (*Responses*). Estes resultados conduziram para a definição e qualificação de *drives* e pressões que possuem endereçamento espacialmente explícito na região de Carajás, vislumbrando a proposição preliminar de um marco de indicações de referência para subsidiar discussões estratégicas à governança hídrica regional. Neste sentido, os resultados foram qualificados e organizados em dois conjuntos:

1 – Qualificação e reconhecimento de *drives* naturais de delimitação da matriz hidrográfica - propostos a partir de uma coleção de dados da rede hidrográfica e do modelo de elevação do terreno (especialmente ajustados para a hidrografia) empregados para configurar e delimitar unidades fluviais da rede hidrográfica na região de Carajás;

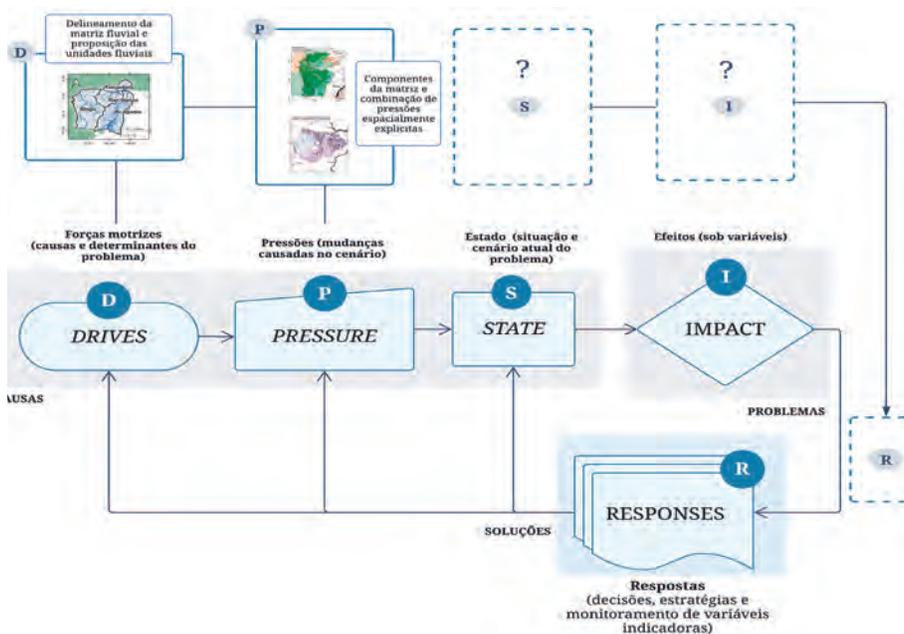
2 – Qualificação e reconhecimento de pressões espacialmente explícitas na matriz e de componentes da paisagem – propostos considerando o mosaico de uso e cobertura do solo, dos assentamentos agrícolas, das unidades de conservação e das terras indígenas.

Essa interpretação também indicou que o fatiamento em cotas de elevação determina pelo menos duas regiões fluviais espacialmente distintas, como descrito a seguir: 1) região Xingu-Itacaiúnas, onde os cursos d'água percorrem cotas de elevação mais altas (trechos de drenagem percorrendo até 500 m de altitude); e 2) região Araguaia-Tocantins, percorrendo altitudes a partir de 150 m (Figura 3). Nesta situação, considerou-se que a altitude do terreno por

onde percorrem os trechos d'água indica a necessidade de avaliar os atributos e critérios para zoneamento fluvial regional, levando em conta que o uso e a conservação da bacia podem ser regulados pela altitude. Tais observações aproximam-se das considerações de Vidal *et al.* (2022), nas quais ressaltam que as variações topográficas implicam, diretamente, as dinâmicas dos fluxos hídricos e sedimentológicos, e que a sinergia da paisagem com suas dinâmicas, funções, fluxos e barreiras geográficas relaciona-se à tipologia dos solos, variações morfológicas e altitudinais e interações entre as formações florestais, campestres, refúgios e agrossistemas.

Vale ressaltar que o quadro DPSIR apresentado na figura 03 é um ensaio preliminar que deve ser mais aprofundado e complementado a partir de novos ensaios, sobretudo na qualificação e composição dos mosaicos de pressão sobre a matriz. Existem lacunas, como a análise do estado (S-state) e a definição de classes de impacto (I-impact), levadas a proposição de soluções (R-responses) para o monitoramento.

Figura 3 - Composição e estrutura do modelo DPSIR para matriz hidrográfica da região de Carajás.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Silva *et al.* (2015); Walmsley (2002), Apostolaki, Koundori e Pittis (2019).

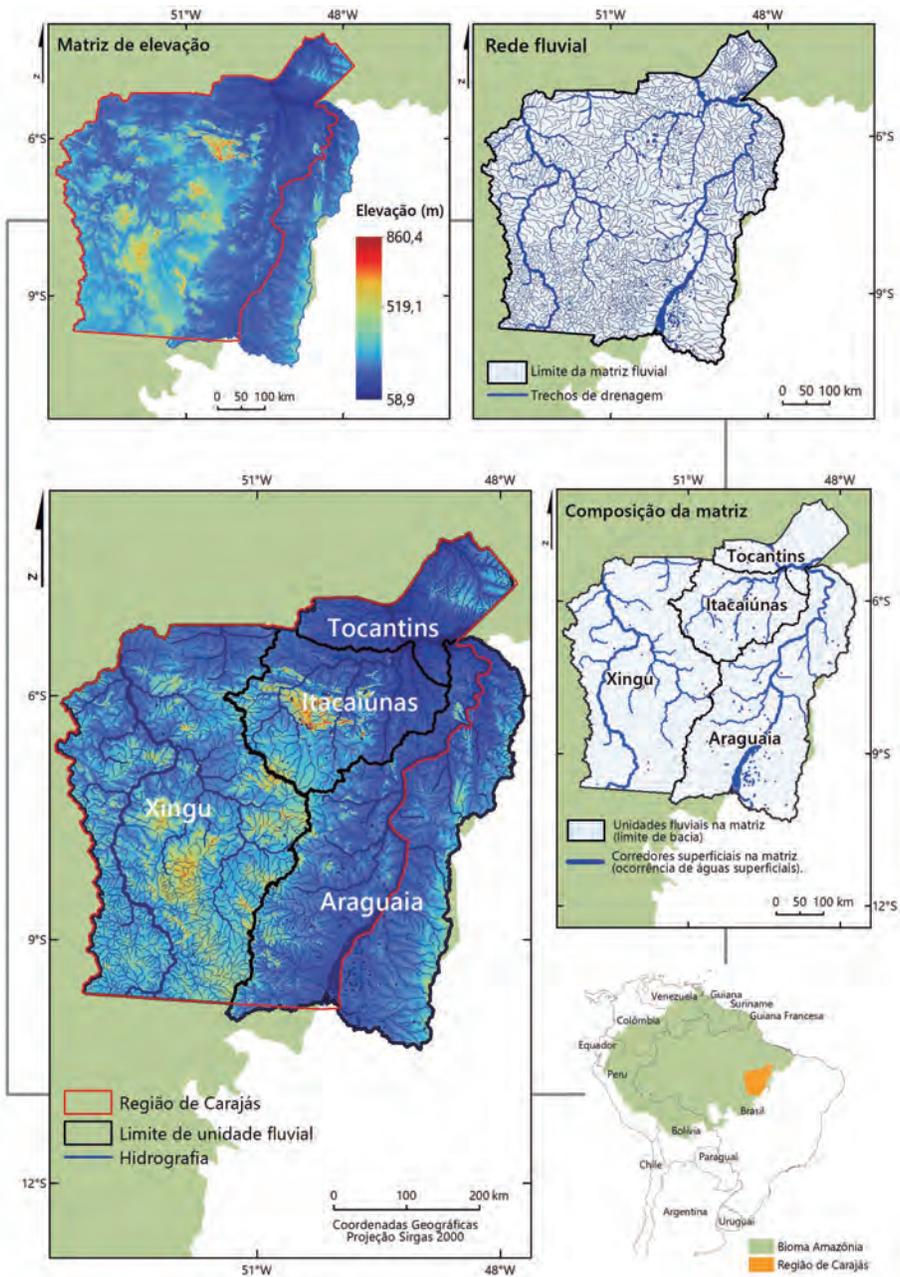
Drives naturais: definindo e reconhecendo a matriz hidrográfica na região de Carajás

A matriz hidrográfica da região de Carajás ora proposta contemplou três critérios espaciais para delimitação geográfica dos polígonos de análise: 1) modelos de elevação (DEM) ajustados para hidrografia; 2) composição da drenagem e dos corredores fluviais principais e; 3) delineamento de unidades de planejamento hídrico, considerando os níveis de ottobacias, sub-bacias e trechos de drenagem. A partir deste delineamento novas estratégias para o desenvolvimento podem ser discutidas à luz da definição de unidades de planejamento regional, levando em conta a organização espacial de bacias, sub-bacias e trechos de drenagem. Assim, os resultados obtidos nesta análise propõem quatro unidades fluviais de planejamento: unidade fluvial Araguaia, unidade fluvial Tocantins, Itacaiúnas e unidade fluvial Xingu (Figura 4).

Noutra vertente, os resultados do presente estudo também se aproximam das indicações de Bouma (2014). Para o autor, o ordenamento do território envolve essencialmente o desenvolvimento e a implementação de estratégias e procedimentos para regular o uso e o desenvolvimento da terra, numa tentativa de gerir e equilibrar as inúmeras pressões sobre ela. O planejamento espacial, incluindo a definição de unidades espaciais de gerenciamento, pode (ou deve) desempenhar um papel importante no tratamento das questões hídricas. Será um mecanismo regional estabelecido, por meio do qual alguns dos desafios de gestão de bacias hidrográficas poderão ser abordados. Tais desafios são, por exemplo, inundações e poluição aquática, fortemente influenciadas pela natureza, pela localização do uso da terra e pelas mudanças nesse uso em processo contínuo de regionalização do território.

Sobre esse aspecto, Monteiro e Silva (2021) apontam que o processo de regionalização é um resultado histórico que se expressa na configuração do território, sobretudo a partir da segunda metade dos anos 80, quando se consolidaram as evidências de que se desenhava a etapa de “constituição da configuração territorial” no processo de institucionalização de regiões. Os autores destacam, entre outros pontos importantes, que as ações dos governos militares criaram condições de acesso a um vasto estoque de recursos naturais, valorizados, no geral, de forma muito homogênea.

Figura 4 - Delimitação da matriz hidrográfica de Carajás, Pará, considerando drenagem, elevação e ottobacias, sub-bacias e trechos de drenagem.



Fonte: ANA (2015), EC JRC/Google (2021) e Yamazaki *et al.* (2019). Elaborado por Keid Nolan Silva Sousa e Regiane Paracampos da Silva.

A negação da diversidade biológica e social preexistente ocasionou no rápido crescimento de uma economia mercantil de base primária, sustentada, sobretudo, pela mineração industrial e pela pecuária bovina, que não apenas assumiram a condição de vetores de homogeneização da economia, mas também contribuíram para a edificação, fora do domínio estrito das relações econômicas de produção e do aparato estatal, de identidades sociais vinculadas a valores implícitos e explícitos de um determinado modo de vida. Finalmente, concluem que a região de Carajás se configurou como uma fração da fronteira brasileira do bioma Amazônia, logo, como uma unidade distinta no espaço, não pelo fato de existir algum tipo de identidade inicial ou uma história internalizada, mas pelo fato de que o deslocamento do capital construiu uma miríade particular de relações e de práticas sociais que se amalgamam em um espaço específico.

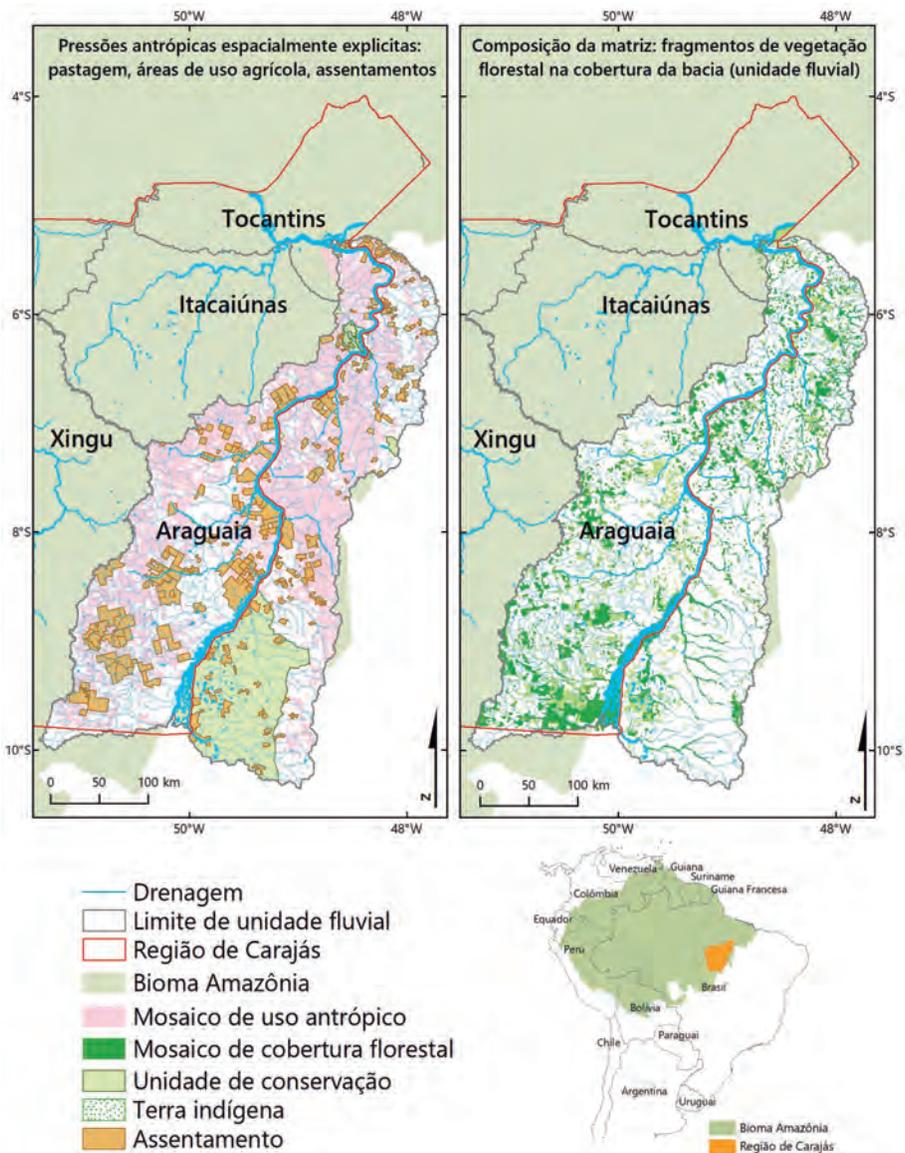
Pressões: Proposição de unidades fluviais regionalizáveis e investigação de componentes do mosaico da paisagem na matriz hidrográfica de Carajás

A diversidade dos estilos de ordenamento do território no Brasil exige um planejamento adaptativo e iterativo para poder implementar a ligação à gestão das bacias hidrográficas, o qual se encaixa bem nas tradições que dependem de sistemas flexíveis de planejamento organizacional. Segundo Bouma (2014), a abordagem de sistemas combina o planejamento espacial com a gestão de bacias hidrográficas, pois conecta sistemas sociais e ecológicos, e a abordagem de serviços ecossistêmicos pode permitir ainda mais essa conexão. Assim, esse estudo propôs-se a reconhecer unidades fluviais que poderiam contemplar o envolvimento dos critérios espacialmente explícitas na escala de bacias e sub-bacias que influenciarão a gestão e implementação da bacia hidrográfica.

A seguir, são destacados aspectos espacialmente relevantes para caracterização das unidades fluviais de planejamento, combinando pressões antrópicas espacialmente explícitas (mosaico de uso da paisagem e assentamentos) e a composição da matriz (mosaico de cobertura florestal, pastagens e outras coberturas), considerando as características individuais de cada unidade fluvial.

A Figura 5 propõe a delimitação da unidade fluvial Araguaia, que compreende as unidades de planejamento hídrico, referidas pela ANA, como médio e baixo Araguaia, com rede hidrográfica encaixada na cota de elevação a partir de 150 m, abrangendo o corredor fluvial principal (rio Araguaia), sub-bacias adjacentes e cursos d'água.

Figura 5 - Unidade fluvial Araguaia - pressões antrópicas espacialmente explícitas e a composição da matriz.



Fonte: ANA (2015) e INPE (2021). Elaborado por Keid Nolan Silva Sousa e Regiane Paracampos da Silva.

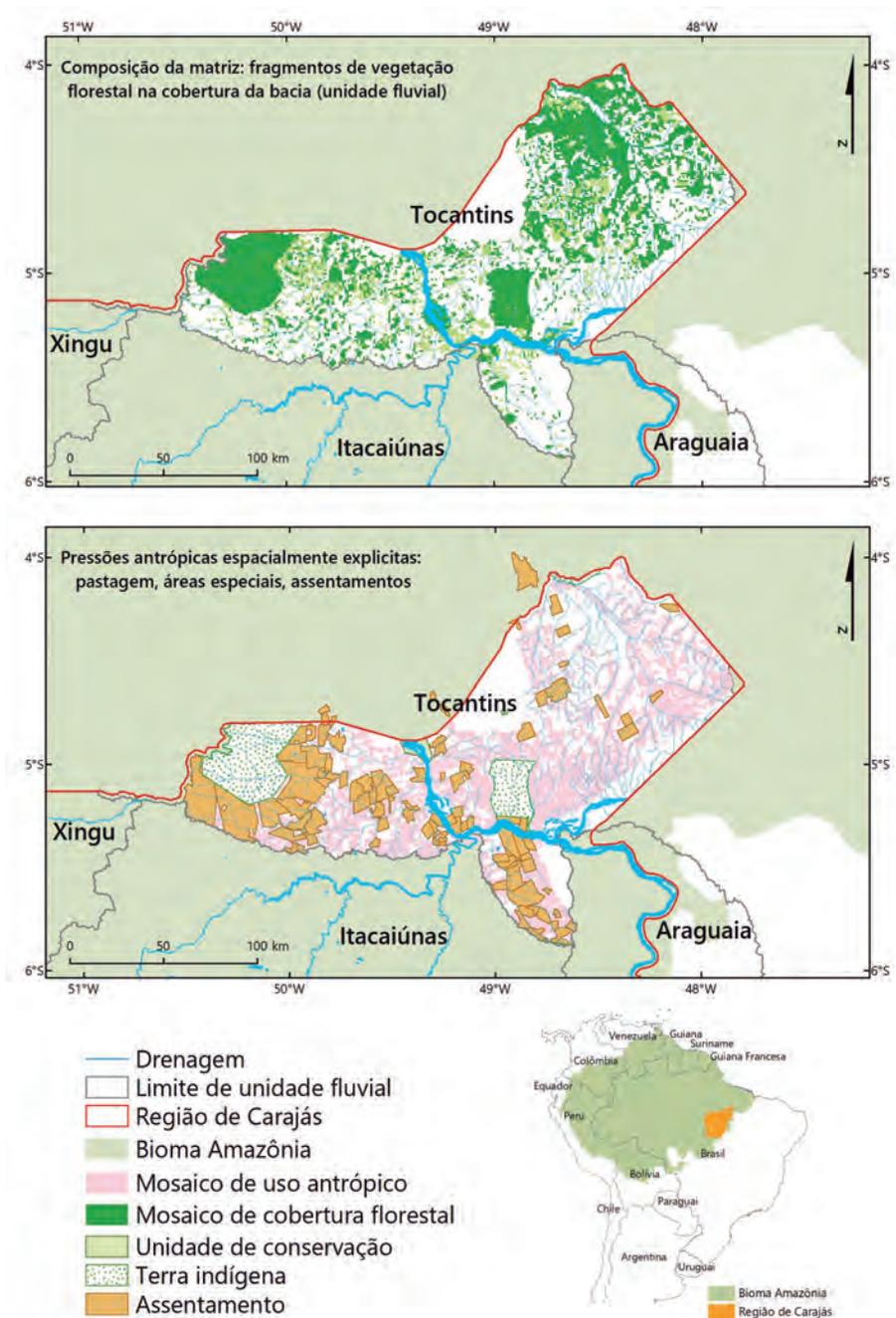
Nos termos do presente estudo, é a região mais extrema da borda oriental do bioma Amazônia, com predominância de pressões antrópicas espacialmente explícitas referidas a assentamentos, pastagens e áreas desmatadas, sendo mais frequente a ocorrência de mosaicos de assentamento, mas também com presença de uso agrícola em menor proporção. Possui um corredor fluvial principal com uma extensão de aproximadamente 500,98 km. Politicamente, abrange municípios situados no estado do Pará (12 municípios na margem direita) e no estado do Tocantins (19 municípios na margem esquerda), separados pelo corredor fluvial do rio Araguaia. A cobertura de vegetação florestal e UCs demonstra uma região bastante fragmentada, com baixa ocorrência de manchas de vegetação florestal, e duas manchas (UCs) de conservação - Área de proteção ambiental da Ilha do Bananal e Parque Estadual do Cantão - localizadas na porção sul da unidade fluvial.

A unidade fluvial Araguaia possui um total de 1.016 trechos de drenagem mapeados, conforme dados da ANA, constituídos de 856 trechos de 1^a a 3^a ordem (córregos, grotas, grotão e igarapés), e 160 trechos de 4^a a 8^a ordem (trechos com maior volume d'água).

A Figura 6 propõe a delimitação da unidade fluvial Tocantins que compreende as unidades de planejamento hídrico, referidas pela ANA, como médio e baixo Tocantins, abrangendo 12 municípios (São João do Araguaia, Marabá, Abel Figueiredo, Rondon do Pará, São Domingos do Araguaia, São Sebastião do Tocantins, São Pedro da Água Branca, Bom Jesus do Tocantins, Jacundá, Itupiranga, Nova Ipixuna, Esperantina), com rede fluvial encaixada na cota de elevação a partir de 150 m abrangendo o corredor fluvial principal (rio Tocantins), sub-bacias adjacentes e cursos d'água. Essa unidade percorre cerca de 166,9 km de extensão linear, composta por um mosaico com 48,03 % de manchas de cobertura florestal e 48,88% de manchas de pastagem, perfazendo 96,91% da área total da unidade. É constituída por 103 assentamentos agrários que totalizam 902 mil hectares e 16.530 famílias. Estão incluídas no mosaico duas terras indígenas: TI Parakanã, pertencente ao grupo étnico Parakanã, com cobertura aproximada de 351 mil hectares; TI Mãe Maria, pertencente ao povo indígena Gavião, com uma área de aproximadamente 62 mil hectares.

A unidade fluvial Tocantins possui um total de 481 trechos de drenagem mapeados, conforme dados da ANA, constituídos de 421 trechos de 1^a a 3^a ordem (córregos, grotas, grotão e igarapés), e 60 trechos de 4^a a 8^a ordem (trechos com maior volume d'água).

Figura 6 - Unidade fluvial Tocantins - pressões antrópicas espacialmente explícitas e a composição da matriz.



Fonte: ANA (2015) e INPE (2021). Elaborado por Keid Nolan Silva Sousa e Regiane Paracampos da Silva.

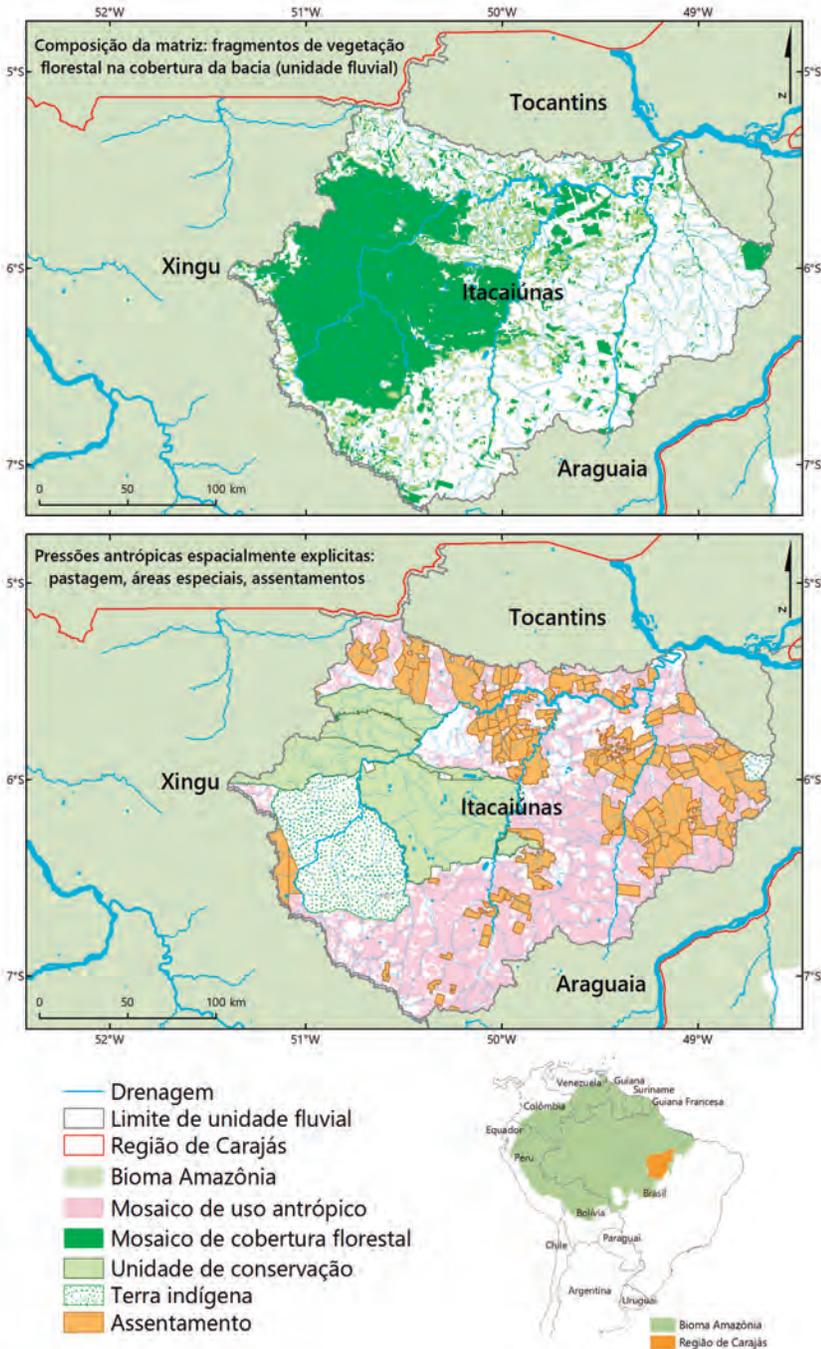
A Figura 7 propõe a delimitação da unidade fluvial Itacaiúnas. Compõe-se de 10 municípios (São Geraldo do Araguaia, Xinguara, Piçarra, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Parauapebas, Marabá, Eldorado do Carajás, Água Azul do Norte, Sapucaia), 143 assentamentos, seis unidades de conservação (Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri, Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, Floresta Nacional de Carajás, Floresta Nacional de Itacaiúnas, Reserva Biológica do Tapirapé, Parque Nacional dos Campos Ferruginosos), 2 Terras Indígenas (Terra Indígena Xikrin do Cateté, e Terra Indígena Sororó). Na composição do mosaico de uso, predomina 51,98% de pastagem com manejo e uso agrícola; 47,15% de cobertura florestal, silvicultura e ocupações em área florestal. A drenagem compõe-se de 418 trechos de 1ª a 3ª ordem, e 73 trechos de 4ª e 5ª ordem.

A Figura 8 apresenta a proposta de unidade fluvial Xingu. Compõe-se de cinco municípios (Tucumã, Bannach, São Félix do Xingu, Cumaru do Norte, Ourilândia do Norte), 29 assentamentos, 13,226 famílias, quatro unidades de conservação (Reserva Extrativista Rio Xingu, Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu, Estação Ecológica da Terra do Meio e Parque Nacional da Serra do Pardo) e seis Terras Indígenas (Araweté Igarapé Ipixuna, Kayapó, Badjonkore, Menkragnotí, Trincheira/Bacajá e Apyterewa). O mosaico constituiu-se de 72,86% de cobertura florestal, 21,57% de pastagem com manejo e uso agrícola. A drenagem compõe-se de 1.811 trechos d'água distribuídos em 1601 de 1ª a 3ª ordem, e 207 de 4ª a 6ª ordem.

O presente estudo é um ensaio que visa reconhecer e agregar *drives* de pressão antrópica espacialmente explícitos com a composição da paisagem que influenciam na matriz hidrográfica na região de Carajás, assumindo como referencial conceitual os princípios de regionalização adotados por Monteiro e Silva (2021), e *drives* e indicadores de pressão espacialmente explícitos (SILVA *et al.*, 2015; SILVA; ZAIDAN, 2004). Na mesma linha, traz como essência as referências apresentadas por Galimbert (2021) em que a concepção da matriz hidrográfica é componente central do planejamento contemporâneo, considerando as condições de toponímia e a composição territorial da região.

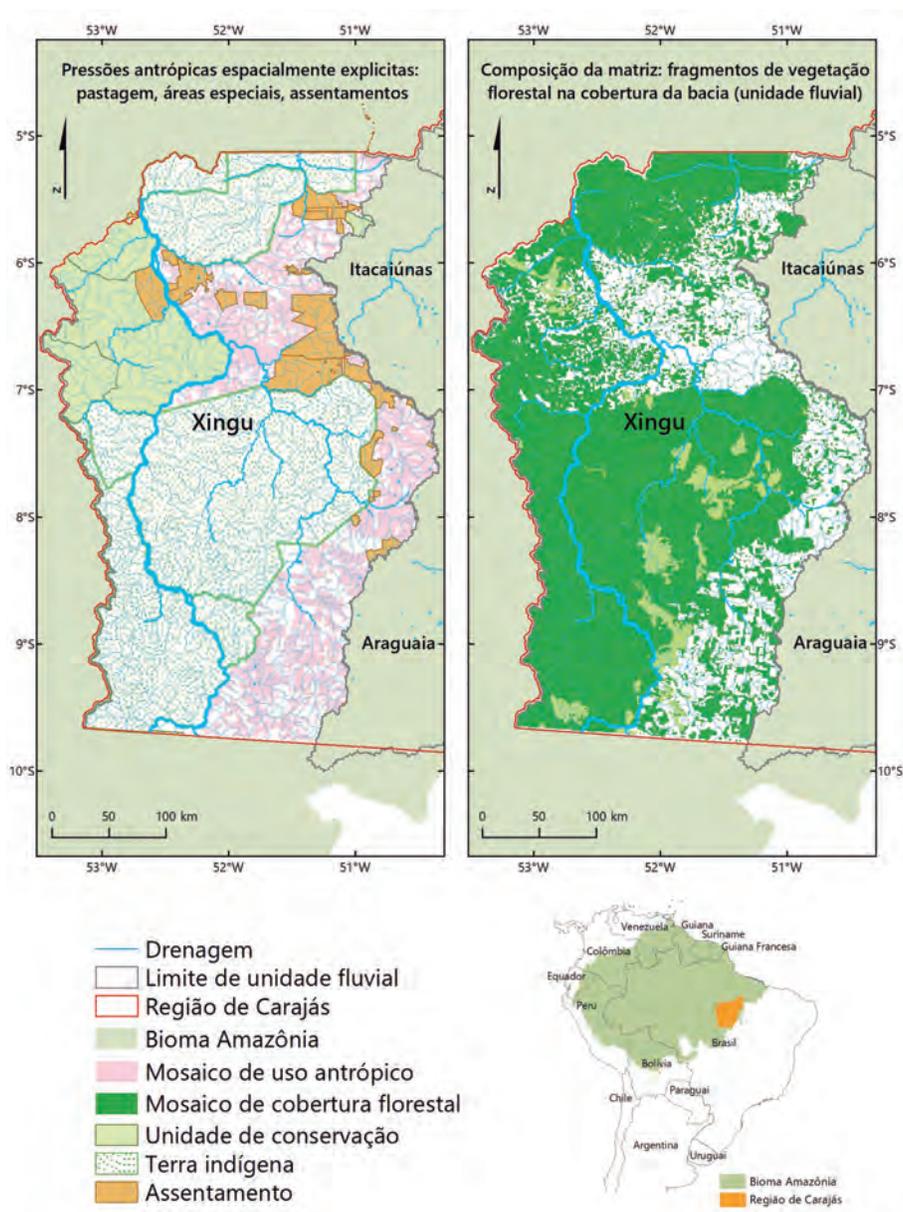
Nesta discussão, a partir da combinação dos fatores espaciais (pressão + componentes da paisagem), o presente estudo delimitou a matriz da paisagem na região de Carajás e identificou unidades fluviais que compõem a matriz. A combinação dos modelos de elevação global ajustados para a hidrografia (MERIT Hydro) com a rede fluvial de drenagem proposta pelo modelo de Ottobacias (ANA, 2015) nível 4 e 5 gerou o recorte das áreas de interesse, denominadas de unidades fluviais.

Figura 7 - Unidade Fluvial Itacaiúnas - pressões antrópicas espacialmente explícitas e a composição da matriz.



Fonte: ANA (2015) e INPE (2021). Elaborado por Keid Nolan Silva Sousa e Regiane Paracampos da Silva.

Figura 8 - Unidade Fluvial Xingu - pressões antrópicas espacialmente explícitas e a composição da matriz.



Fonte: ANA (2015) e INPE (2021). Elaborado por Keid Nolan Silva Sousa e Regiane Paracampos da Silva.

Nessa discussão, as pressões territoriais sobre a matriz hidrográfica demonstradas neste estudo constituem aproximações espacialmente definidas da realidade, que necessitam de validação em campo, sobretudo para o estado atual dos trechos de drenagem. Provavelmente, uma quantidade de canais de drenagem, sobretudo de 1ª a 3ª ordem, pode ter sido extinta, caracterizando perdas de águas na superfície da matriz hidrográfica. Estes fatos precisam ser mais aprofundados, pois já são fatos comprovados na escala global, conforme descrito por Pekel *et al.* (2016) e Yamazaki *et al.* (2019). Entre 1984 e 2015, as águas superficiais permanentes desapareceram de uma área de quase 90.000 quilômetros quadrados. Mais de 70% da perda líquida permanente global de água ocorreu no Oriente Médio e na Ásia Central, ligada à seca e a ações humanas, incluindo desvio ou barragem de rios e retirada não regulamentada. Ações humanas em várias situações promovem alterações na carga de sedimentos de rios, carreando elementos potencialmente tóxicos, com efeitos danosos aos ecossistemas e às populações ribeirinhas, na região de Carajás alterações dessa ordem, em certa medida, decorem da presença e da proliferação de garimpos ilegais (Figura 9).

Um fato recentemente registrado na unidade fluvial Itacaiúnas reforça a necessidade de ampliação e aprofundamento no estudo dos efeitos das pressões antrópicas sobre a matriz hidrográfica de Carajás. Sousa *et al.* (2022) objetivaram avaliar as concentrações de Ca, K, Na e Mg na água e nos peixes de rios da região. Os rios analisados possuem variação nas concentrações de macroelementos. O rio Parauapebas possui concentrações mais elevadas de Ca, K, Mg e Na quando comparado aos igarapés Gelado e Tapirapé. Os peixes analisados absorveram níveis diferentes de macroelementos, na ordem de $K > Ca > Na > Mg$ para todas as espécies analisadas. Sob a mesma condição, o Piau (*Leporinus*) apresentou maior capacidade de absorver Ca, K, Na e Mg da água comparado ao Curimatã (*Prochilodus lineatus*). Os resultados da pesquisa são pouco conclusivos e carecem de maior aprofundamento. Em outro estudo, Oliveira *et al.* (2020) analisaram o comportamento espacial das formações vegetais e uso do solo na área de transição ecológica Amazônia-Cerrado, considerando as características da cobertura vegetal, mas sem aprofundamento nas questões da hidrografia.

Figura 9 - Garimpagem de ouro na reserva indígena Kaiapó, município de Marabá, Pará, 1995, promovendo alterações na carga de sedimentos em cursos d'água.



Foto: Nair Benedicto (OlharImagem).

O emprego de atributos espacialmente explícitos para delinear e configurar a matriz hidrográfica de Carajás traz na essência a proposição de uma abordagem espacial de atributos da paisagem sobre a rede fluvial regional abrangendo as unidades fluviais convenientemente denominadas de Araguaia, Tocantins, Itacaiúnas e Xingu. No entanto, é notável a necessidade de agregar outros fatores espacialmente explícitos, além do uso da terra. O cadastro de atributos de uso dos sistemas aquáticos, como pesca, qualidade da água, aquicultura, poderá agregar fatores de classificação das unidades fluviais noutras escalas de análise. Certamente será necessária a construção de um banco de dados geográfico focado na geração de informações qualificadas das unidades fluviais ora propostas. Além disso, poderá, de toda forma, ser utilizado como suporte a decisões estratégicas para o planejamento regional.

De toda maneira, resguardadas suas limitações metodológicas e analíticas, o presente estudo vislumbrou apresentar uma primeira aproximação regional e configuração espacial baseada em componentes da rede fluvial delimitados conforme a cota de altitude em que se encaixam no terreno. Adotando a classificação proposta por Vidal *et al.* (2022), as tipologias das unidades de paisagem deste estudo são encaixadas nas terras altas, terras médias e terras baixas,

configurando um referencial para enquadramento funcional das unidades fluviais ora apresentadas. Futuramente os dois modelos poderão ser agregados por afinidades das classes temáticas com a finalidade de subsidiarem o delineamento de unidades experimentais de análise da hidrografia na escala da paisagem, e seu emprego como unidades de planejamento regional reguladas pela variação topográfica do terreno e pelos demais componentes dos mosaicos da paisagem na escala de bacias e sub-bacias.

No contexto da rede fluvial, Ward, Malard e Tockner (2002) consideram que a diversidade de paisagens fluviais é ao mesmo tempo dominada por sociedades humanas onde interagem natureza e cultura em prol do desenvolvimento. Sua sustentabilidade depende primariamente da atenção com pessoas, mas também com a manutenção e preservação das funções ecológicas do sistema. Para Gao *et al.* (2018) compreender os processos hidrológicos a partir de uma perspectiva ecológica é um campo de pesquisa empolgante e de rápido crescimento. Paisagens e água estão intimamente ligadas, e os avanços na interação entre a heterogeneidade da paisagem e os processos hidrológicos.

Segundo Wiens (2002), em termos gerais, a ecologia da paisagem encontra-se na intersecção das disciplinas bem estabelecidas da geografia, ecologia e antropologia social. Incorpora também elementos dos híbridos dessas disciplinas: ecologia espacial (ecologia + geografia), geografia humana (geografia + antropologia social) e ecologia cultural (antropologia social + ecologia). Este autor elucidou os conceitos manchas, corredores, conectividade integrando-os as paisagens e planejamento de rios. Nessa perspectiva, Lang e Blaschke (2009), definem que o planejamento da paisagem como instrumento de planejamento territorial, com base legal para realização de objetivos de proteção à natureza e de cuidado com a paisagem em lugares com ou sem a ocupação humana. Segundo Leitão *et al.* (2006), o objetivo do planejamento é organizar funções no espaço de tal maneira que demonstre a melhor relação mútua ou a melhor opção de desenvolvimento humano com os potenciais naturais em uma configuração espacial comum.

A discussão trazida por Molle (2009) coloca em evidência que o conceito de bacia hidrográfica como unidade de gestão ou planejamento passou por várias etapas e está em estado de fluxo na Europa. Para o autor, a bacia hidrográfica além de sua relevância como unidade geográfica para fins de desenvolvimento e gestão de recursos hídricos, pode ser tratada como paisagens aquáticas interconectadas gerenciadas por níveis políticos/administrativos e sociais, sendo uma questão fundamental que alimenta uma busca interminável por sistemas de governança que unam natureza e sociedade.

Na mesma reflexão, Ferreira e Leitão (2005) com base nos métodos de planejamento ecológico existentes, desenvolveram uma estrutura conceitual para o planejamento sustentável da paisagem aplicando conceitos ecológicos da paisagem e explorando os múltiplos papéis potenciais das métricas da paisagem como ferramentas de planejamento ecológico. Os autores defendem uma estrutura comum que aplique o conhecimento ecológico no planejamento do território, aplicável a todas as atividades de planejamento físico. Finalmente, Metzgher *et al.* (2007) concluem que se os modelos de paisagem forem corretamente validados, podem dar importantes indicações sobre que padrão de desmatamento é menos prejudicial em termos biológicos, sendo assim de grande valia no planejamento da expansão da fronteira agrícola na Amazônia e na otimização da conservação da biodiversidade em paisagens antropizadas.

Recentemente, Williams-Subiza e Epele (2021) publicaram uma revisão sobre drivers da perda de biodiversidade em ambientes de água doce. Nesse estudo, os autores alertam que as espécies estão desaparecendo a uma taxa comparável com as extinções em massa anteriores. Os ambientes de água doce estão sendo particularmente afetados com perdas de biodiversidade, que ocorrem muito mais rápido neles do que em ecossistemas terrestres ou marinhos. O estudo avaliou a pesquisa sobre os fatores de perda de biodiversidade em ambientes de água doce, conforme descrito em quase 37.000 artigos publicados na última década. Artigos sobre biodiversidade publicados entre 2010 e 2019 foram recuperados para determinar o número de artigos que abordavam um determinado Driver da perda da biodiversidade, analisando os títulos, resumos e palavras-chave. Verificou-se também que os países megadiversos, que em sua maioria também eram países em desenvolvimento, publicaram substancialmente menos artigos do que os países desenvolvidos, mas menos biodiversos.

CONCLUSÕES

A presente análise é uma discussão que se faz ainda de forma preliminar, mas poderá constituir um quadro referencial de indicadores estruturados no modelo DPSIR para detecção e inspeção espacial da rede hidrográfica como instrumento de apoio à governança hídrica regional e mapeamento das vocações territoriais e propondo unidades fluviais de planejamento na matriz hidrográfica de Carajás. A proposição do termo matriz hidrográfica provém de um encontro de terminologias amplamente empregados em estudos com abordagens multidisciplinares. As investigações na escala da paisagem, trazem no seu referencial três conceitos importantes (matriz, corredor e manchas). Os resultados abordam o termo matriz como o substrato “temático” onde ocorrem fenômenos

especialmente explícitos ou não, determinando a formação de corredores e de manchas. Para o caso dos estudos da hidrografia, a geomorfologia, adota a definição das formas geográficas percorridas e determinadas pelos movimentos da água, pode percorrer formando feições (mosaicos) conectadas pela água, configurando uma bacia hidrográfica. Com isto o termo matriz hidrográfico propõe-se a explorar e estabelecer uma ligação entre as abordagens da ecologia da paisagem, da geomorfologia para discutir aspectos como planejamento, governança hídrica e Desenvolvimento regional.

Com essa visão, o termo “matriz hidrográfica” está posto neste estudo como uma alternativa para definir unidades espaciais de planejamento hídrico integrando premissas oriundas da ecologia de paisagens (tais como matriz, corredor e manchas, compondo um mosaico espacial) da geomorfologia (assumindo a bacia hidrográfica e suas respectivas feições), e da geografia (considerando o termo Território sendo um espaço físico onde o ser humano faz uso). O presente estudo também incrementou novas classes de drivers não espacialmente explícitos como estudos de viabilidade territorial de cadeias da bioeconomia bioecológica dos serviços de provisão de alimentos de origem aquática (pesca e piscicultura e sua importância como componente estratégico para segurança alimentar regional e posição estratégica no território); dos serviços de lazer e turismo, como cadeias de turismo sustentável baseado em pesca esportiva; e viabilidade territorial para produção e cultivo de peixes ornamentais e recuperação de remanescentes fluviais – estratégia de preservação e conservação de remanescentes da biodiversidade aquática em áreas antropizadas.

REFERÊNCIAS

AHERN, J. Spatial concepts, planning strategies, and future scenarios: a framework method for integrating landscape ecology and landscape planning. *In*: KLOPATEK, J. M. e GARDNER, R. H. (Ed.). **Landscape ecological analysis: Issues and Applications**. New York: Springer, 1999. p. 175-201. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0529-6_10.

ANA. **Divisão hidrográfica, corpos hídricos superficiais e dominialidades**. Agência Nacional de Águas e Saneamento básico 2015. Disponível em: dadosabertos.ana.gov.br.

APOSTOLAKI, S.; KOUNDOURI, P.; PITTIS, N. Using a systemic approach to address the requirement for Integrated Water Resource Management within the Water Framework Directive. **Science of the Total Environment**, 679, p. 70-79, 2019.

BARBOSA, E. J. S.; VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S.; SILVA, L. F. N. D. S. Componentes naturais da paisagem na região de Carajás. *In*: MONTEIRO, M. A. (Ed.). **Amazônia: a região de Carajás**, no prelo.

BOUMA, G.; SLOB, A. How Spatial Planning Can Connect to River Basin Management. *In*: BRILS, J.; BRACK, W., *et al* (Ed.). **Risk-Informed Management of European River Basins**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. v. 29, p. 321-345. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38598-8_12.

DALE, M. R. T.; FORTIN, M. **Spatial analysis: a guide for ecologists**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 365 p.

DE OLIVEIRA, M. T.; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C. *et al*. Mapeamento da Vegetação do Cerrado—Uma Revisão das Iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.72, n. especial 50 anos, DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56591>.

EC JRC/GOOGLE. **GSW - Global Surface Waters**. EC JRC/Google, 2021. Disponível em: <https://global-surface-water.appspot.com/download>).

EEA, E. **Environmental indicators: Typology and overview**. Copenhagen: European Environmental Agency, n. 25, 1999.

FEÁS, J.; GIUPPONI, C.; ROSATO, P. Water management, public participation and decision support systems: the MULINO Approach. **International Congress on Environmental Modelling and Software**, n. 71, 2022. Disponível em: <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2004/all/71>. Acesso em: 15 ago. 2022.

FERREIRA, H.; LEITÃO, A. B. Integrating landscape and water resources planning with focus on sustainability. *In*: TRESS, B.; TRES, G., *et al* (Ed.). **From landscape research to landscape planning, Aspects of integration, education and application**. Dordrecht, NL: Springer, 2005. p. 143-159.

GALIMBERTI, C. I. “Proyectar con la naturaleza”. La Matriz hidrográfica como componente central del planeamiento contemporáneo: caso área metropolitana de Rosario. **Revista de Direito da Cidade**, v.13, n. 3, p. 1422-1443, 2021.

GAO, H.; SABO, J. L.; CHEN, X.; LIU, Z. *et al*. Landscape heterogeneity and hydrological processes: a review of landscape-based hydrological models. **Landscape ecology**, 33, n. 9, p. 1461-1480, 2018.

GIUPPONI, C. From the DPSIR reporting framework to a system for a dynamic and integrated decision making process. **MULINO International Conference on “Policies and tools for sustainable water management in the EU”**, 21-23 Nov. 2002.

GIUPPONI, C. Decision support systems for implementing the European water framework directive: the MULINO approach. **Environmental Modelling & Software**, v.22, n. 2, p. 248-258, 2007.

GOOGLE. Google Earth Engine. s.d.

IBGE. Index of Informações ambientais - cobertura e uso do solo. 2018.

INCRA. **Acervo fundiário**. 2022. Disponível em: <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>.

INPE. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite – Prodes**. 2021. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads>.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Landscape analysis with GIS**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LEITAO, A. B.; MILLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. **Measuring Landscapes: A Planner's Handbook**. Washington, DC: Island Press, 2006.

METZGER, J. P.; FONSECA, M. D.; OLIVEIRA-FILHO, F. D.; MARTENSEN, A. C. O uso de modelos em Ecologia de Paisagens. **Megadiversidade**, v.3, n. 1-2, p. 64-73, 2007.

MOLLE, F. O. River-basin planning and management: The social life of a concept. **Geoforum**, 40, n. 3, p. 484-494, 2009.

MONTEIRO, M. A.; SILVA, R. P. Expansão geográfica, fronteira e regionalização: a região de Carajás. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/ Revista franco-brasileira de geografia**, v.49, p. 1-19, 2021.

OECD. **Implementing the OECD Principles on Water Governance: Indicator Framework and Evolving Practices**. Paris: OECD Publishing, 2018. DOI <https://doi.org/10.1787/9789264292659-en>.

PEKEL, J.-F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, 540, n. 7633, p. 418-422, 2016.

SEGURADO, P.; FERREIRA, T.; BRANCO, P. Assessing the Effects of Multiple Stressors on Aquatic Systems across Temporal and Spatial Scales: From Measurement to Management. **Water**, v.13, n. 24, p. 3549, 2021.

SILVA, C. J.; SOUSA, K. N. S.; IKEDA-CASTRILLON, S. K.; LOPES, C. R. A. S. *et al.* Biodiversity and its drivers and pressures of change in the wetlands of the Upper Paraguay–Guaporé Ecotone, Mato Grosso (Brazil). **Land Use Policy**, v.47, p. 163-178, 2015.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise ambiental**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363 p.

SOUSA, P. E. S.; DA SILVA, M. M. C.; DA SILVA, D. R.; RODRIGUES, M. C. S. F. *et al.* Macroelementos em peixes de rios da Amazônia Oriental: estudo de caso na Região de Integração de Carajás. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, 20, 2022.

STENDERA, S.; ADRIAN, R.; BONADA, N.; CAÑEDO-ARGÜELLES, M. *et al.* Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: a review. **Hydrobiologia**, v.696, n. 1, p. 1-28, 2012.

VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S.; SILVA, E. V.; BARBOSA, E. J. S. Geoecologia: Aportes para uma aproximação taxonômica na região de Carajás. **Novos Cadernos NAEA**, 25, n. 4, p. 365-362, dez. 2022.

WALMSLEY, J. J. Framework for measuring sustainable development in catchment systems. **Environmental management**, v.29, n. 2, p. 195-206, 2002.

WARD, J.; MALARD, F.; TOCKNER, K. Landscape ecology: a framework for integrating pattern and process in river corridors. **Landscape ecology**, v.17, n. 1, p. 35-45, 2002.

WIENS, J. A. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. **Freshwater biology**, 47, n. 4, p. 501-515, 2002.

WILLIAMS-SUBIZA, E. A.; EPELE, L. B. Drivers of biodiversity loss in freshwater environments: A bibliometric analysis of the recent literature. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v.31, n. 9, p. 2469-2480, 2021.

YAMAZAKI, D.; IKESHIMA, D.; SOSA, J.; BATES, P. D. *et al.* MERIT Hydro: a high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. **Water Resources Research**, v.55, n. 6, p. 5053-5073, 2019. DOI: doi: 10.1029/2019WR024873. Disponível em: http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/.

Texto submetido à Revista em 15.08.2022

Aceito para publicação em 02.09.2022