ROTAS FLUVIAIS: REPRESENTANDO A NAVEGAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES DA POPULAÇÃO DO BAIXO TOCANTINS, PARÁ, ATRAVÉS DE RIOS E CANAIS

Gustavo Piva Lopes Salgado [1], Ana Paula Dal'Asta [2], Silvana Amaral [3]
[1 2 3] Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja, São José dos Campos/SP.
[1] gustavo.salgado@inpe.br; [2] apdalasta@gmail.com; [3] silvana.amaral@inpe.br

Resumo

A rede hidrográfica é o principal modal em grande parte da Amazônia, definindo padrões de mobilidade e acesso. Este trabalho propõe a modelagem de rotas fluviais do Baixo Tocantins, Pará. O estudo justifica-se pela necessidade de aprimorar o conhecimento sobre a acessibilidade da população na região, onde a representação das rotas é fundamental para a definição de uma rede de movimentação. A metodologia utiliza análises espaciais, como *buffers* e *skeletonize*, com dados vetoriais, para a identificação de rotas centrais de navegação em rios e canais, e marginais de ilhas e terra firme. Os resultados evidenciam uma representação coerente, destacando conexões secundárias entre canais e rotas marginais. O estudo oferece contribuições de métodos que podem ser replicados ou aprimorados em áreas com padrão de mobilidade similar.

***Palavras-chave* —** Modelagem de rotas fluviais, Baixo Tocantins, Acessibilidade.

Abstract

The hydrographic network is the main mode of transportation in much of the Amazon, defining patterns of mobility and access. This work proposes the modeling of river routes in the Baixo Tocantins region, Pará. The study is justified by the need to enhance knowledge about the accessibility of the population in the region, where the representation of routes is fundamental for defining a movement network. The methodology uses spatial analysis techniques, such as buffers and skeletonize, along with vector data, to identify central navigation routes in rivers and channels, as well as marginal routes of islands and dry land. The results provide a coherent representation, highlighting secondary connections between channels and marginal routes. The study offers contributions of methods that can be replicated or improved in areas with similar mobility patterns.

***Keywords* —** *River routes modeling, Baixo Tocantins Region, Accessibility.*

1. INTRODUÇÃO

Os rios amazônicos possibilitam o deslocamento da população por rotas fluviais para acesso às vilas, cidades e aldeias localizadas às margens dos rios. No Pará, a ocupação ribeirinha é fortemente dependente da rede hidrográfica para locomoção e acesso a serviços, e através dos rios definem assim suas redes de relações com os nós da rede urbana em seus diferentes níveis [1]. Isso demonstra a complexidade do tecido urbano dessas regiões, onde o modal hidroviário constitui-se como o principal para conectar a rede formal de cidades às mais diversas localidades, transportando pessoas [1]. Assim, a representação das rotas fluviais permite compreender padrões de mobilidade dessas populações, o planejamento de políticas públicas.

A modelagem de canais de drenagem e redes hidrográficas pode ser realizada por extração de linhas de fundos de vales a partir da direção de fluxos locais (*Local Drain Directions* – LDD) [2] utilizando, por exemplo, imagens de radar como sua grade de altimetria [3]. Contudo, quando se trata de modelar as rotas de navegação em trechos de rios caudalosos, o resultado gerado pode ser limitante para a representação das particularidades dos percursos da população local, devido a existência de rotas mais próximas às margens dos rios e circulação entre ilhas por canais secundários ao trecho local mais profundo.

Portanto, como podemos modelar as rotas de movimentação de embarcações da população ribeirinha amazônica através de rios caudalosos e seus canais fluviais? O objetivo deste trabalho é obter vetores, que permitam representar as rotas de movimentação da população ribeirinha do Baixo Tocantins (Pará) através de corpos d'água de rios e canais fluviais. Esta representação é fundamental para modelar os movimentos e fluxos da população local, como em estudos sobre o acesso geográfico da população aos mais diversos serviços básicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo é a região do Baixo Tocantins, Pará (Figura 1), que abrange um território de mais de 15 mil km². A população, de cerca de 700 mil pessoas, reside principalmente em áreas de várzeas e ilhas, caracterizadas

por uma densa rede de canais fluviais que definem a conexão dessas pessoas aos mais diversos locais.

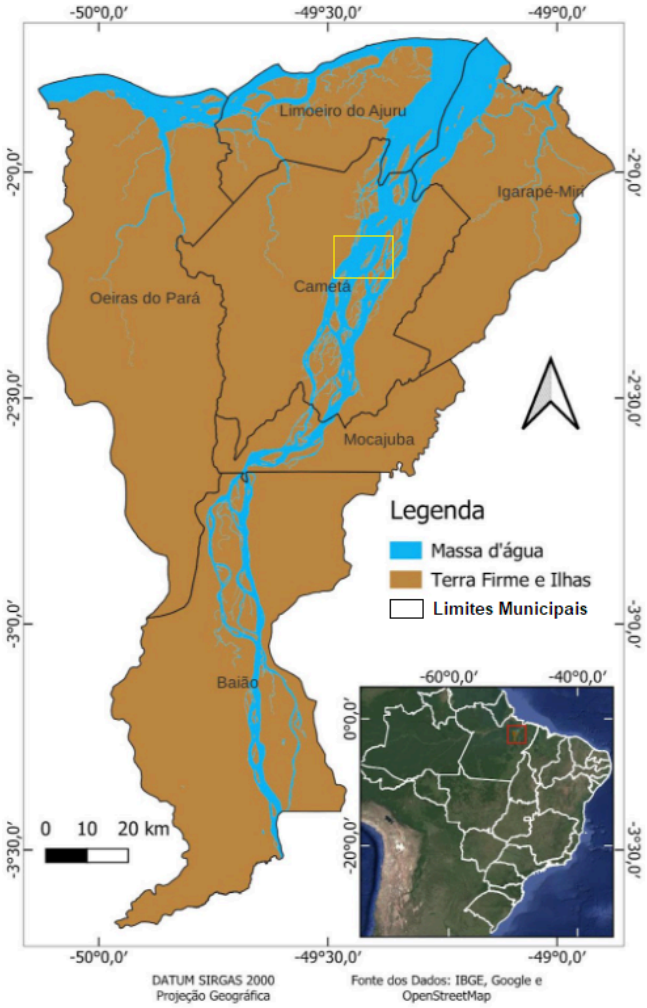


Figura 1. Área de estudo do Baixo Tocantins, Pará.

2.2. Materiais

As bases de dados utilizadas (Tabela 1), incluem: os limites de Corpos D'água [5] e da Malha de Municípios [6], bem como os vetores dos Trajetos de Recenseadores [7].

Dado	Tipo	Ano	Fonte
Corpos D'água	Vetor polígonos	2024	OpenStreetMap
Malha de Municípios	Vetor polígonos	2022	IBGE
Trajetos de recenseadores	Vetor Linhas	2017	IBGE

Tabela 1. Dados utilizados no processamento.

Os corpos d'água fornecem a base hidrográfica da região, enquanto a malha de municípios delimita os limites administrativos da área de estudo.

Os trajetos de recenseadores representam os percursos rodoviários e fluviais dos recenseadores do Censo Agro de 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes trajetos foram registrados através da função *tracking* dos aparelhos de GPS, que definem os vértices das linhas traçadas para os trajetos [8].

2.3. Métodos

O fluxograma metodológico (Figura 2) descreve o conjunto de etapas para a criação de rotas de navegação no Baixo Tocantins. Os métodos abrangem a transformação dos dados vetoriais de entrada e a análise espacial. O processamento foi realizado nos *softwares* Quantum GIS (QGIS) e ArcMap, e em linguagem de programação *python* cujos *scripts* estão disponíveis em um repositório *online*. Ele pode ser agrupado em três etapas: (1) criação de rotas marginais à terra firme e às ilhas, (2) criação de rotas centrais em corpos d'água, (3) união das rotas centrais e marginais.

O processamento de *criação de rotas marginais* utiliza as camadas da Malha de Municípios da área de estudo e dos Corpos D'água para a operação de diferença simétrica, realizado no QGIS [9], gerando uma base vetorial de Terra Firme e Ilhas. Dos trajetos dos recenseadores, foram selecionados apenas aqueles realizados em embarcações, utilizando a camada de corpos d'água como máscara. A partir dos trajetos selecionados, seus vértices foram extraídos e utilizados para calcular a distância média de navegação em relação às margens de cada polígono de terra firme e ilhas (Figura 3), procedimento que foi realizado em linguagem de programação *python*. Os valores de distância média dos vértices das margens orientaram a criação de *buffers* para cada polígono de terra firme e ilhas, também realizado em *python*. O processo é finalizado no QGIS, com a conversão da camada de *buffers* de terra firme e ilhas, do tipo *MultiPolygons*, para uma camada do tipo *MultiLines* [9], permitindo assim a criação de estruturas lineares representativas de rotas.

O processo de *criação de rotas centrais* de navegação começa com a rasterização em imagem binária do arquivo de corpos d'água, onde 0 representa os pixels fora das feições d'água e 1 representa os pixels dentro das feições. A partir da imagem binária, aplicou-se o algoritmo *Skeletonize* [10], disponível no módulo *morphology* da biblioteca python *'scikit-image'*, que reduz a dimensionalidade de cada feição de valor 1 à largura de um único pixel [11]. Isso gera um 'esqueleto' das feições de corpos d'água (Figura 4). Então, o arquivo raster do esqueleto é convertido para um formato vetorial por meio do procedimento *Raster To Polylines* do *software* ArcMap[12], gerando uma camada que é representativa das rotas centrais nos corpos hídricos da área de estudo, incluindo as feições de canais fluviais.

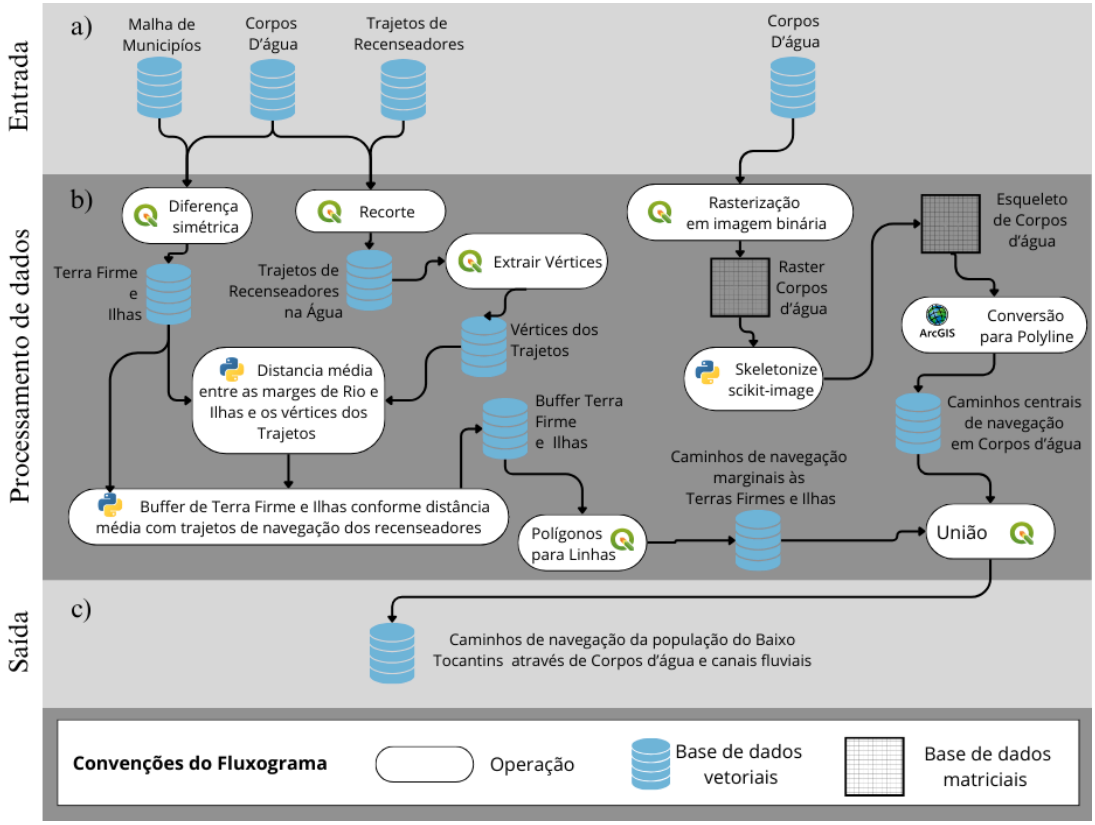


Figura 2. Fluxograma metodológico do trabalho.

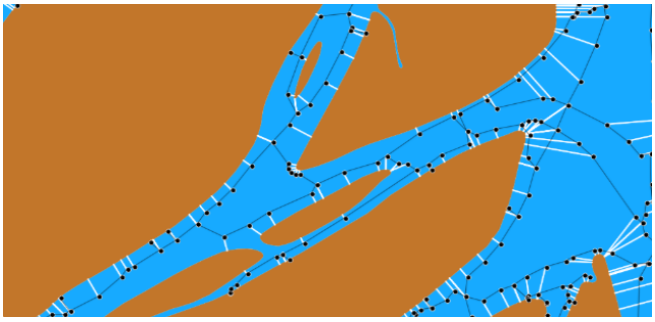


Figura 3. Distâncias de navegação das margens (linhas brancas) foram extraídas dos vértices dos trajetos dos recenseadores (linhas pretas).

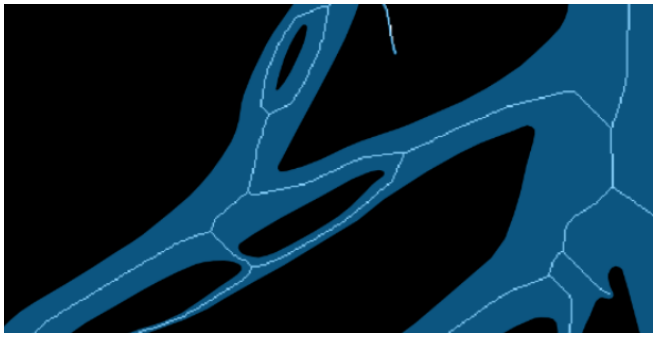


Figura 4. Raster do esqueleto de corpos d'água.

Na terceira etapa, as camadas vetoriais com os limites das rotas marginais e rotas centrais, resultantes dos dois procedimentos anteriores, são combinadas através da função 'União' do QGIS [9]. A camada final unificada constitui uma representação linear das rotas de navegação, sem redundância, pelos canais fluviais principais e secundários entre as ilhas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distâncias de navegação em relação às margens de cada ilha ou terra firme, extraídas dos vértices dos trajetos dos recenseadores, possuem uma média geral de 80m. Como as distâncias entre as margens do canal principal podem ter até 15 km, este resultado evidencia a preferência por navegação mais próxima às margens na área de estudo. Contudo, a extensão e a complexidade da hidrografia da região demandam a análise de médias locais, para que a criação das rotas de navegação sejam mais condizentes com a diversidade de distâncias médias de navegação marginais conforme cada ilha e terra firme (Figura 5).



Figura 5. Boxplot das distâncias médias de navegação em relação às margens de cada ilha e terra firme.

A figura 6 demonstra que o resultado do processamento realizado gerou estruturas lineares representativas das rotas de navegação, compatíveis com as distâncias médias locais calculadas.

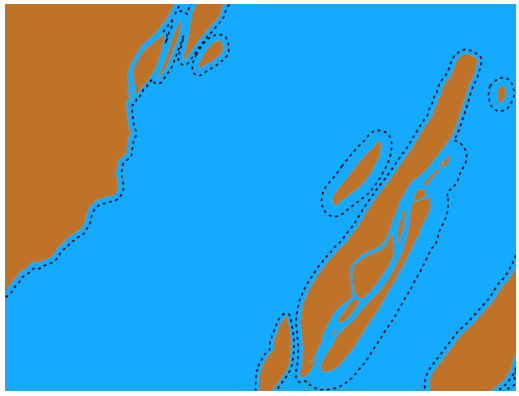


Figura 6. Rotas marginais de navegação.

Os processos de 'esqueletização' de objetos poligonais são comumente realizados em formatos vetoriais, utilizando diagramas de Voronoi e triangulação de Delaunay [13]. Contudo, o resultado do processo de esqueletização a partir do arquivo matricial de corpos d'água também obteve êxito em definir rotas centrais e secundárias que conectam os canais ao longo do rio, especialmente na ligação aos canais marginais (Figura 7).

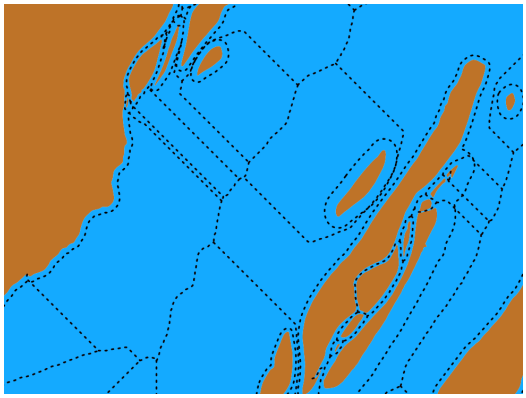


Figura 7. União das rotas marginais e centrais.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma solução de análise geográfica útil para modelar as rotas de movimentação de embarcações da população ribeirinha amazônica através de rios caudalosos e seus canais fluviais. A metodologia ainda está sendo desenvolvida e possui limitações na omissão de conexões entre rotas especialmente em áreas com menor densidade de canais. Ela deve ser aprimorada para corrigir essas omissões e assim permitir uma representação mais precisa da movimentação regional das embarcações. As rotas obtidas configuram uma base vetorial para modelar a rede de movimentação de população ribeirinha, fundamental para estudar acessibilidade em regiões amazônicas.

5. REFERÊNCIAS

[1] S. AMARAL et al. Comunidades ribeirinhas como forma socioespacial de expressão urbana na Amazônia: uma tipologia para a região do Baixo Tapajós (Pará-Brasil). *Revista Brasileira De Estudos De População*, vol. 30, nº 2, p. 367–399, 2013. Disponível em: https://rebep.org.br/revista/article/view/366

[2] P. A. BURROUGH & R. A. MCDONNELL. *Principles of Geographical Information Systems.* Oxford University Press, New York, 1998.

[3] S. ROSIM et al. Extração da drenagem da região nordeste utilizando o sistema terrahidro. *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, v. 12, 2014.

[4] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022 - Resultados preliminares*. 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/

[5] GEOFABRIK. *OpenStreetMap Data Extracts [Water Bodies]*. 2024. Disponível em: https://download.geofabrik.de/

[6] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) *Malha municipal brasileira [Conjunto de dados vetoriais]*. 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html

[7] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Trajetos dos recenseadores do Censo Agro 2017 *[Conjunto de dados vetoriais]. 2017.* Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/trajetos-dos-recenseadores.html

[8] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Agropecuário 2017 : nota técnica 02/2019 : trajetos dos recenseadores.* IBGE, Rio de Janeiro, 19 p, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101672

[9] QGIS ORG. *QGIS Geographic Information System.* Open Source Geospatial Foundation Project. 2024. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/expressions/

[10] T. Y. ZHANG & C. Y. SUEN. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. *Communications of the Association for Computing Machinery*, Volume 27, nº 3, p. 236-239, 1984. Disponível em: https://doi.org/10.1145/357994.358023

[11] S. VAN DER WALT, J. L. SCHÖNBERGER, J. NUNEZ-IGLESIAS, F. BOULOGNE, J. D. WARNER, N. YAGER, E. GOUILLART & T. YU. *Scikit-image: Image processing in Python.* PeerJ 2:e453, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.7717/peerj.453

[12] ESRI. *ArcGIS Desktop: ArcMAP 10.8*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2024.

[13] S. SZOMBARA. Comparison of methods used in cartography for the skeletonisation of areal objects, *Geoinformatica Polonica*, v. 14, p.85-94, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1515/gein-2015-0008.

SCRIPTS E BASE DE DADOS

https://github.com/gustavo-salgado-geo/codes