

MAPEAMENTO AQUÍCOLA NO ESTADO DO PARANÁ COM MACHINE LEARNING E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NO GEE

Bruno Aparecido da Silva¹, Marta Eichenberger Ummus², Ericson Hideky Hayakawa³, Carolina Balera Trombini⁴ e Altair Bennert⁵

¹Pesquisador pós-doutorado pelo Biopark Educação, Toledo (PR) e Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon (PR), umipi.ordenamento@bpkedu.com.br; ²Analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas (TO), marta.ummus@embrapa.br; ³Professor do Ensino Superior, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon (PR), ericson.hayakawa@unioeste.br; e ⁴Gestora PD&I, Unidade Mista de Pesquisa e Inovação (UMIPI) Oeste Paranaense, Biopark Educação, Toledo (PR), carolina.trombini@bpkedu.com.br. ⁵Doutorando em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon (PR), altair_geo@yahoo.com.br.

RESUMO

O acompanhamento da expansão da atividade aquícola no Brasil é urgente. O estado do Paraná, que é líder nacional nessa atividade, não conta com uma base de dados geoespaciais que possa nortear o planejamento e ordenamento territorial da aquicultura. Assim, o objetivo deste artigo foi mapear os viveiros escavados utilizando algoritmo de *machine learning* e imagens Planet (4,77 m de resolução) no estado do Paraná. O fluxo de extração dos viveiros escavados foi implementado no *Google Earth Engine* (GEE), onde foram obtidos índices espectrais, realizada classificação orientada a pixel com algoritmo *Random Forest* (RF) e aplicados filtros de atributos geométricos. Foram mapeados 42.369 viveiros escavados, totalizando 11.515 ha de área, com acurácia global de 0,94. Também foram mapeados 7.584 empreendimentos aquícolas. Portanto, de modo inédito, foram sistematizadas informações geoespaciais sobre a aquicultura no estado do Paraná, desenvolvida em viveiros escavados.

Palavras-chave — *Random forest*, tilapicultura, imagens Planet, ordenamento territorial, viveiro escavado.

ABSTRACT

Monitoring the expansion of aquaculture activity in Brazil is urgent. The state of Paraná, which is the national leader in this activity in the country, does not have a geospatial database to guide the planning and territorial management of aquaculture. Thus, the objective of this article was to map aquaculture ponds using a machine learning algorithm and Planet images (4.77 m resolution) in the state of Paraná. The workflow was implemented in Google Earth Engine (GEE), where spectral indices were extracted, pixel-based classification was performed using the Random Forest (RF) algorithm, and geometric attribute filters were applied. A total of 42,369 aquaculture ponds were mapped, covering an area of 11,515 hectares, with an overall accuracy of 0.94. Additionally, 7,584 aquaculture enterprises were mapped. Therefore, for the first time, geospatial information about

aquaculture developed in excavated ponds in the state of Paraná was systematized.

Key words — *Random forest, tilapia farming, Planet images, territorial management, aquaculture pond.*

1. INTRODUÇÃO

A expansão da aquicultura possibilitou o crescimento da cadeia produtiva e foi fundamental para a geração de emprego e renda em vários países, inclusive no Brasil [1, 2]. Devido às características geográficas e o empreendedorismo dos produtores do campo, o país é um território potencial para o desenvolvimento da aquicultura [3, 4]. Além disso, o país ocupa a 8ª colocação no ranking mundial de produção de peixes em águas continentais, e projeta alcançar a 2ª posição até 2032 [2]. Desde 2014, o Brasil registrou um aumento de 48,6% na produção de peixes no país [5]. Porém, a escassez de informações geoespaciais pode impossibilitar o acompanhamento da expansão aquícola, pautada na sustentabilidade [6]. Somam-se ainda, diversas questões ambientais que se agravaram nas últimas décadas, de modo que o desenvolvimento sustentável da aquicultura [7] torna-se urgente por meio do ordenamento territorial da aquicultura.

Nesse sentido, por ser um exemplo paradigmático da piscicultura brasileira, que é o principal produtor de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) no Brasil, o estado do Paraná tem atraído o foco de investigações com vista ao seu quadro aquícola [3, 4, 8]. E, considerando que até recentemente, a utilização de técnicas tradicionais [9] não foram viáveis para a investigação geoespacial da aquicultura em grande escala [10], o objetivo deste artigo foi mapear automaticamente os viveiros escavados, a partir do uso de algoritmo de *machine learning* no Google Earth Engine (GEE), no estado do Paraná (Figura 1).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na etapa inicial, houve a seleção e aquisição de imagens de satélite com alta resolução (4,77 m), disponibilizadas pelo

programa *Norway's International Climate and Forest Initiative* (NICFI), adquiridas pela *Kongsberg Satellite Services* (KSAT), *Airbus* e *Planet* [11]. O acesso à coleção de imagens do NICFI Planet ocorreu via GEE e foram aplicados os seguintes filtros para obter uma imagem síntese e seguir com a extração de índices espectrais (Figura 2): seleção de imagens entre 2020 a 2023; função removedora de nuvens às imagens; filtragem de imagens considerando a área de interesse e; cálculo da mediana de cada pixel das imagens selecionadas.

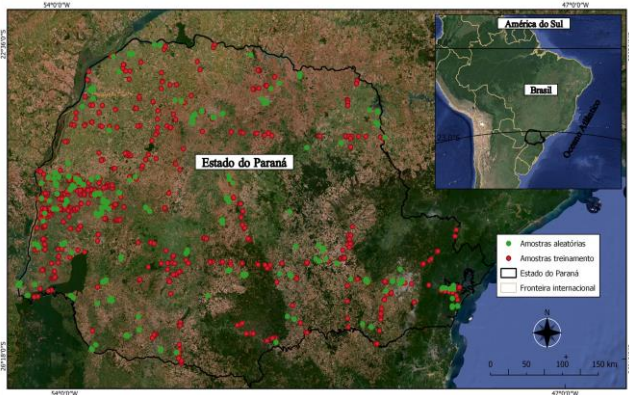


Figura 1. Localização do estado do Paraná.

O processamento das imagens englobou a extração dos seguintes índices espectrais: *Nominalized Difference Water Index* (NDWI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Nominalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Para o treinamento do algoritmo, foi necessário obter 1.200 amostras de treinamento, sendo 800 amostras de água e 400 de não-água (Figura 1). Posteriormente, foi realizada a classificação supervisionada orientada a pixel, por meio da combinação entre amostras de treinamento, bandas espectrais (B, G, R, N), índices espectrais e algoritmo RF. No Brasil, pesquisadores têm alcançado êxito com este algoritmo para o mapeamento da paisagem em grande escala [12].

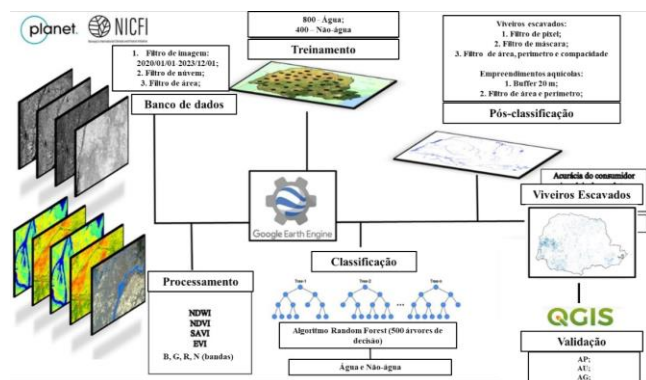


Figura 2. Fluxograma das etapas da extração dos viveiros escavados.

Após a classificação e obtenção da máscara com duas classes (água e não-água), seguiram-se com a remoção de objetos classificados que não representariam os viveiros escavados (lagos, lagoas de decantação, reservatórios, rios, etc.), considerando os seguintes seguintes parâmetros geométricos: área ($< 0,05$ ha), perímetro (< 150 m) e compactidade ($< 0,3$) [10]. Uma segunda filtragem foi por meio da remoção dos pixels a partir de uma máscara de corpos d'água superficiais, incluindo rios, lagos e reservatórios, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (<https://www.gov.br/ana/pt-br>). Da máscara resultante, houve o agrupamento dos viveiros escavados em empreendimentos aquícolas. Os tanques que se intersectaram dentro de 20 metros foram agrupados. O valor de 20 metros de *buffer* foi obtido empiricamente na área do estudo, com base na distância entre os viveiros em áreas de produção intensiva. Por fim, avaliou-se a acurácia do algoritmo RF, com a separação aleatória de 30% das amostras de treinamento, construída uma matriz de erros (Figura 3^a) contendo a acurácia do usuário (AU), acurácia do produtor (AP) e acurácia global (AG) [15, 16].

3. RESULTADOS

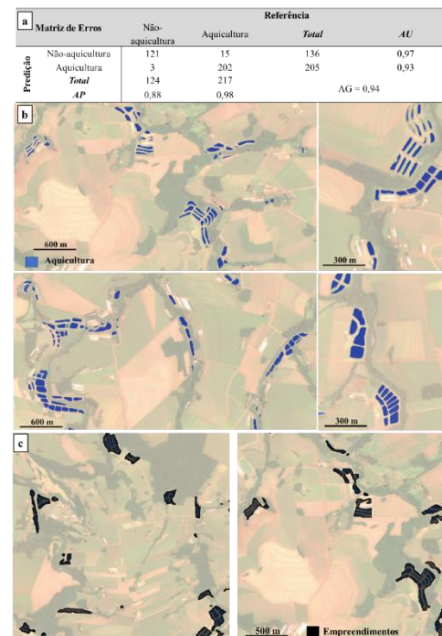


Figura 3. Resultados da acurácia da classificação pelo RF. a) Matriz de erros com acurácia global de 0,9 de acerto. b, c) Espacialização dos viveiros e empreendimentos mapeados.

A avaliação da acurácia do classificador RF indicou acerto de 94% das classes classificadas corretamente (AG – 0,94; Figura 3a). Esse resultado reflete a elevada taxa de acurácia do produtor para a classe aquícola (0,98) e não aquícola (0,88). A acurácia do usuário também obteve acertos acima de 0,97 e 0,93, respectivamente não-aquícola e aquícola. Foram identificados 42.369 polígonos associados a viveiros escavados no território do estado do

Paraná. A área de lâmina d'água total ocupada por esses viveiros correspondeu 11.515 ha. Em relação às características geométricas dos viveiros, os valores mín. e máx. de área e perímetro variaram entre 0,05-2,28 ha e 113,52-2748,68 m respectivamente. Os valores médios foram de 0,27 ha (área) e 260,92 m (perímetro) para os viveiros mapeados. Predominaram viveiros aquícolas com área inferior a 0,7 ha e perímetro menor que 600 m, e viveiros predominantemente não circular, considerando que o valor médio de compacidade (circularidade) foi de 0,70, confirmando que os viveiros escavados no estado do Paraná apresentam formas mais próximas da circularidade.

A partir do arquivo gerado pela extração automatizada de viveiros aquícolas (individualizados) para o estado do Paraná foi possível quantificar os empreendimentos aquícolas por município, assim como avaliar a densidade desses empreendimentos no estado. O estado possui 7.584 empreendimentos aquícolas, para o ano de 2024. Isso representa uma área de lâmina d'água de 7.793,2 ha. Os municípios que somaram as maiores lâminas de água destinada à aquicultura (> 300 ha) estão a oeste do estado do Paraná (Figura 4), sendo: Nova Aurora, Toledo, Assis Chateaubriand, Palotina, Marechal Cândido Rondon e Maripá.

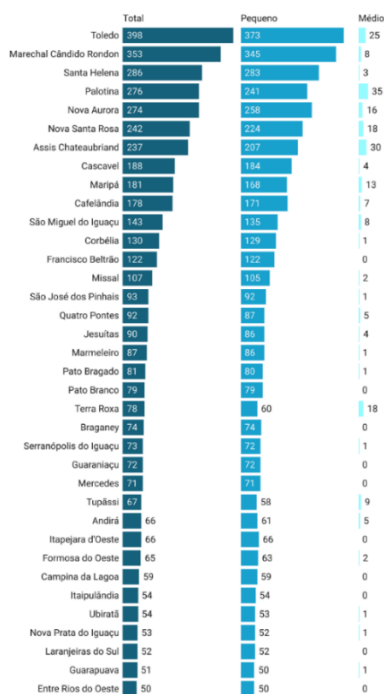


Figura 4. Relação de municípios com mais de 50 empreendimentos.

Em relação à distribuição desses empreendimentos, esta é predominantemente desigual e concentrada a oeste do estado, próximo aos municípios de Nova Aurora, Cafelândia, Maripá, Marechal Cândido Rondon e demais municípios no extremo oeste do estado (Figuras 5). Nesses municípios, a incidência é de 100 a 160 empreendimentos num raio de 10

km. De forma mais dispersa, as regiões a sudoeste, a norte e em direção ao litoral, também apresentaram relativa concentração de empreendimentos, aproximadamente 50 empreendimentos num raio de 10 km.

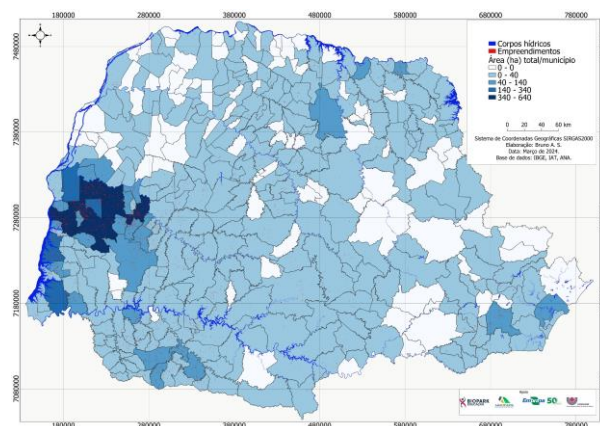


Figura 4. Área dos empreendimentos aquícolas por município no estado do Paraná.

4. DISCUSSÃO

Diante da necessidade de dados aquícolas geoespaciais para o estado do Paraná, o que é fundamental para o acompanhamento da expansão da atividade [3, 4], com vista ao desenvolvimento sustentável da aquicultura [7], a implementação da metodologia na plataforma GEE facilitou a obtenção de áreas aquícolas a nível estadual a partir do mapeamento automatizado, gerando informações inéditas para o território paranaense.

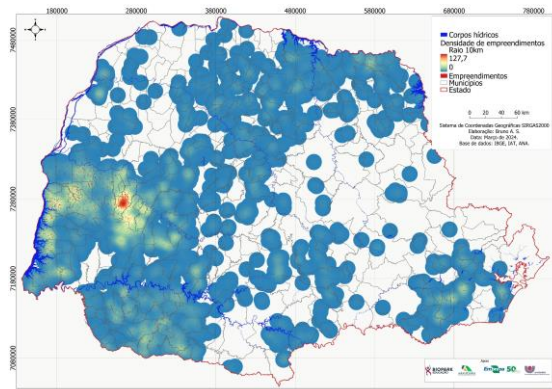


Figura 5. Densidade de empreendimentos aquícolas no estado do Paraná.

A metodologia proposta reduziu o tempo de obtenção de dados aquícolas geoespaciais, por meio da simplificação do processamento da elevada quantidade de dados [10]. Ao mesmo tempo, considerando a eficácia da metodologia para extrair automaticamente áreas aquícolas, conforme confirmado pela acurácia global (0,94), esta proposta metodológica poderia ser utilizada em outras áreas do país onde a demanda por dados aquícolas são necessários para a

caracterização territorial da aquicultura [6]. Nesse sentido, gestores públicos poderiam se beneficiar dessas informações, [3, 4, 8, 17] que podem subsidiar estudos sobre a capacidade ambiental e avaliação de área disponível à aquicultura.

Portanto, nosso estudo adquire papel fundamental para o planejamento aquícola, e soma-se à pesquisas nacionais que mapearam áreas aquícolas na costa do país [12]. A partir desses resultados, demais gestores passam a ter informações privilegiadas sobre o panorama aquícola, e obter uma compreensão dos desafios socioambientais para adequação do espaço geográfico [18] e viabilizar ordenamento territorial para a aquicultura.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou potencial para extrair viveiros aquícolas em áreas continentais interiores, conforme sustentado pelos resultados de acurácia global. Destaca-se que a metodologia possibilitou obter dados geoespaciais inéditos e, com isso, viabilizou a caracterização quantitativa dos viveiros e empreendimentos e avaliar o quadro espacial aquícola no principal estado produtor de tilápias do Brasil. Adicionalmente, ressalta-se ainda a rápida e simplificada execução do levantamento, uma vez que o fluxo de trabalho foi implementado na plataforma GEE, a partir do uso do RF e aplicação de operações geométricas. Com isso, a lacuna de informações geoespaciais e sistemáticas sobre a aquicultura em escala nacional poderia ser preenchida rapidamente por meio da aplicação da metodologia ora proposta. Por fim, a metodologia pode viabilizar o acompanhamento da aquicultura e disponibilizar informações cruciais sobre o espaço disponível para a aquicultura no território estadual e nacional.

AGRADECIMENTOS: A Fundação Araucária do Estado do Paraná - Termo de Convênio n. 215/2023, ao Biopark Educação. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”. Ao CNPq (Processo 313757/2021-6).

8. REFERÊNCIAS

[1] M. Ottinger, F. Bachofer, J. Huth, and C. Kuenzer, “Mapping aquaculture ponds for the coastal zone of asia with sentinel-1 and sentinel-2 time series,” *Remote Sens.*, vol. 14, no. 1, Jan. 2022.

[2] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. FAO, 2024.

[3] H. R. Francisco, A. F. Corrêia, and A. Feiden, “Classification of Areas Suitable for Fish Farming Using Geotechnology and Multi-Criteria Analysis,” *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 8, no. 394, pp. 1–19, Sep. 2019.

[4] Y. C. C. Novo, A. R. Farias, M. F. Fonseca, and L. A. Magalhães, “Mapping of aquaculture production units in the Paraná state through processing and interpretation of

Sentinel satellite images (Paraná - Brazil),” *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, vol. 54, pp. 103–108, 2022.

[5] A. P. Anuário Peixe BR, “Anuário Brasileiro da Piscicultura - PEIXE BR 2023.” Associação Brasileira da Piscicultura, p. 65, 2023.

[6] L. Greenstreet *et al.*, “Detecting Aquaculture with Deep Learning in a Low-Data Setting,” in *SigKDD Fragile Earth Workshop*, Jun. 2023, vol. 1, no. 1, pp. 6–10.

[7] R. L. Naylor *et al.*, “A 20-year retrospective review of global aquaculture,” *Nature*, vol. 591, no. 7851, pp. 551–563, 2021.

[8] D. R. Dapieve, M. F. Maggi, E. Mercante, H. R. Francisco, D. de D. Oliveira, and O. J. L. Junior, “Use of geotechnologies for aquaculture site selection: suitability factors and constraints for production in ground-excavated ponds,” *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, vol. 51, no. 2, pp. 160–194.

[9] R. A. Loberternos *et al.*, “An object-based workflow developed to extract aquaculture ponds from airborne LiDAR data: A test case in central Visayas, Philippines,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2016, vol. 41, pp. 1147–1152.

[10] W. Sun *et al.*, “Mapping China’s coastal aquaculture ponds expansion with sentinel-2 images during 2017–2021,” *Int. J. Digit. Earth*, vol. 17, no. 1, Dec. 2024.

[11] Planet Team, “Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth,” *Planet Team*. San Francisco, 2017. [Online]. Available: <https://api.planet.com>

[12] C. Diniz *et al.*, “A large-scale deep-learning approach for multi-temporal aqua and salt-culture mapping,” *Remote Sens.*, vol. 13, no. 8, Apr. 2021.

[13] R. Santiago-Montero, E. Bribiesca, R. S. Montero, R. Santiago, and E. Bribiesca, “State of the art of compactness and circularity measures State of the Art of Compactness and Circularity Measures 1,” *Int. Math. Forum*, vol. 4, no. 27, pp. 1305–1335, 2009.

[14] Z. Xia, X. Guo, and R. Chen, “Automatic extraction of aquaculture ponds based on Google Earth Engine,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 198, Dec. 2020.

[15] P. Tian *et al.*, “Mapping Coastal Aquaculture Ponds of China Using Sentinel SAR Images in 2020 and Google Earth Engine,” *Remote Sens.*, vol. 14, no. 21, Nov. 2022.

[16] Y. Hou, G. Zhao, X. Chen, and X. Yu, “Improving Satellite Retrieval of Coastal Aquaculture Pond by Adding Water Quality Parameters,” *Remote Sens.*, vol. 14, no. 14, Jul. 2022.

[17] F. M. da S. Morsoleto, K. C. da S. Lira, J. F. M. Silva, H. R. Francisco, F. Bittencourt, and A. Feiden, “Geographic information system as a tool for assessing ponds and the potential for environmental impact caused by fish farming,” *Bol. do Inst. Pesca*, vol. 48, no. e695, pp. 1–9, May 2022.

[18] L. Falconer, A. L. Middelboe, H. Kaas, L. G. Ross, and T. C. Telfer, “Use of geographic information systems for aquaculture and recommendations for development of spatial tools,” *Rev. Aquac.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–14, 2020.