

Mapeamento de unidades de produção aquícola no estado do Paraná por meio de processamento e interpretação de imagens de satélite Sentinel

Mapping of aquaculture production units in the Paraná state through processing and interpretation of Sentinel satellite images (Paraná – Brazil)

Yara Cristina Carvalho Novo ^{*}, André Rodrigo Farias ^{**}, Marcelo Fernando Fonseca ^{***}, Lucíola Alves Magalhães ^{****}

^{*} Departamento de Geografia - Universidade Estadual de Campinas, email y094579@g.unicamp.br

^{**} Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, email andre.farias@embrapa.br

^{***} Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, email marcelo.fonseca@embrapa.br

^{****} Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, email luciola.magalhaes@embrapa.br

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v54i0.75775>

Resumo

A aquicultura representa uma atividade produtiva fundamental para a nutrição humana e o crescimento econômico. No Brasil, a produção aquícola tem se elevado de forma significativa nos últimos anos, com potencial de crescimento ainda a ser explorado considerando as características naturais e a própria extensão do território brasileiro. No entanto, as informações relevantes e a caracterização territorial da atividade econômica ainda são escassas em âmbito nacional. Nesse sentido, o objetivo deste artigo centrou-se em mapear as unidades de produção aquícola em 18 municípios representativos de 75% da produção total do estado do Paraná no ano 2018. O mapeamento foi realizado a partir de imagens de satélite Sentinel 2A e 2B com 10 m de resolução espacial e o processamento digital consistiu na aplicação do Índice NDWI (*Normalized Difference Water Index*) para identificação e reconhecimento de corpos d'água, com refinamento e validação posterior segundo técnicas de interpretação visual de imagens de satélite. O mapeamento identificou 2412 polígonos representativos do sistema de produção em viveiros escavados, ocupando 3991 hectares, e 32 polígonos representativos do sistema de produção de tanques-rede, ocupando 68 hectares, com destaque para os municípios de Toledo, Nova Aurora, Palotina e Assis Chateaubriand. Limitações associadas aos custos e dificuldade de acesso aos locais de produção podem ser amenizadas por técnicas de processamento digital de imagens de satélite que evidenciem comportamentos espectrais característicos, associados a interpretação visual de estruturas típicas da aquicultura, demonstrando ser uma ferramenta eficaz para reconhecimento destas e potencialmente aplicável em outras regiões.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; NDWI; Aquicultura; Viveiros escavados.

Abstract

Aquaculture represents a productive activity fundamental for human nutrition and economic growth. In Brazil, aquaculture production has increased significantly in recent years, with growth potential still to be explored considering the natural characteristics and the very extent of the Brazilian territory. However, the relevant information and territorial characteristics of economic activity are still scarce at the national level. In this regard, the objective of this article concentrated on mapping aquaculture production units in 18 municipalities representing 75% of the total production of Paraná state in the year 2018. The mapping was conducted from scenes captured by satellite of medium spatial resolution Sentinel 2A and 2B, which were the object of digital processing and application of the NDWI Index (Normalized Difference Water Index) for identification and recognition of water bodies, with refinement and subsequent validation according to techniques of visual interpretation of satellite images. The mapping identified 2412 polygons representative of the production system in excavated ponds, occupying 3991 hectares, and 32 polygons representative of the production in tanks system, occupying 68 hectares, with emphasis on the municipalities of Toledo, Nova Aurora, Palotina and Assis Chateaubriand. Limitations associated with costs and difficulty in accessing production sites can be mitigated by digital processing techniques of satellite images, aiming to evidence characteristic spectral behaviors, associated with the visual interpretation of typical aquaculture structures, demonstrating to be an effective tool for the recognition of these and potentially applicable in other regions.

Keywords: Remote sensing; NDWI; Aquaculture; Excavated ponds.

I. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2018), os setores de pesca e aquicultura são fundamentais para melhorar a segurança alimentar e a nutrição humana e, conforme especificado na Agenda 2030, desempenham um papel cada vez mais importante na luta contra à fome. Tais premissas têm elevado a participação da produção aquícola no cenário internacional nos últimos anos, segundo a FAO (2018, p.4): “entre 2011 e 2016 a produção aquícola mundial (marinha e continental) cresceu cerca de 29,4%”. No Brasil, os números divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2019b), mostram que a cadeia aquícola teve um acréscimo de 21% entre 2013 e 2018, com relevante participação em diversas regiões do Brasil.

O estado do Paraná merece destaque, pois entre todos os estados federativos brasileiros, vem dominando a cadeia aquícola desde 2016, sendo que, em 2018 foi responsável por 20% da produção aquícola brasileira, onde somente a tilápia representou cerca de 95% do volume de produção no estado (IBGE, 2019b). Sua relevância está atrelada às características específicas de estrutura da cadeia aquícola, que o diferencia no contexto geográfico, como disponibilidade de água e aos investimentos feitos na aquicultura em comparação a outras unidades federativas. Segundo o anuário da Peixe BR (2020, p.20):

Os investimentos – especialmente da agroindústria – puxam o avanço da piscicultura paranaense. Vários *players* entraram na atividade, além da ampliação de projetos já existentes. O sucesso da atividade no Paraná também envolve os bons índices de produtividade nas propriedades com boa estrutura das empresas na área de comercialização e logística (PEIXE BR, 2020, p. 20).

Mesmo apresentando números crescentes, a cadeia aquícola carece de uma série de iniciativas públicas e/ou privadas que devem ser implementadas no sentido de fornecer organização, monitoramento, regulação e planejamento do setor produtivo. Entre essas iniciativas, é possível citar o aprimoramento da infraestrutura logística de escoamento dos produtos, a regulação dos mercados consumidores e de fornecimento de insumos, o ordenamento territorial e ambiental das propriedades aquícolas nos contextos municipais e regionais, entre outros aspectos.

Todos esses elementos necessitam da adequada identificação das situações geográficas em que essa produção se realiza no território, isto é, onde, como e com qual intensidade a produção aquícola ocorre em diferentes municípios. O projeto BRS Aqua (EMBRAPA, 2018), ao qual esse trabalho se vincula, tem como objetivo fornecer dados e informações estratégicas para o desenvolvimento territorial sustentável da aquicultura brasileira. O GeoWeb do Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Aquicultura, produto desenvolvido nesta iniciativa, é uma plataforma nacional de publicação e disponibilização dos dados espaciais do setor aquícola, do qual o mapeamento de viveiros escavados do estado do Paraná faz parte.

A utilização e o avanço das técnicas de sensoriamento remoto vêm apresentando grande potencial no processo de reconhecimento e delimitação de corpos d'água para a aquicultura, assim como no planejamento territorial aquícola, no uso dos recursos naturais e da ocupação dos espaços com tal finalidade, sendo dependente das características da área de estudo, tipo do sensor e efeitos atmosféricos. Assim, cada área deve ser analisada e interpretada segundo suas próprias especificidades e, da mesma forma, as técnicas e processamentos utilizados devem ser modelados considerando tais características particulares (ALQURASHI, KUMAR (2013); ALVES et al. (2016); BUITRAGO et al. (2005); CARLSEN et al. (2019); DINIZ et al. (2021); DING (2009); HASSEN et al. (2001); PÉREZ, TELFER, ROSS (2007); SCOTT, VIANNA (2001); SILVA et al. (2011); SINGH (1989) e VIANN, BONETTI, BONETTI (2016)).

Segundo Du et al. (2016), diversos métodos de identificação espacial de corpos d'água podem ser desenvolvidos a partir de imagens multiespectrais, como é o caso das imagens fornecidas pelos satélites Sentinel. Aplicações nesse tema podem ser vistas no trabalho de Kaplan e Avdan (2017), que discutem um modelo de extração de corpos d'água baseado em objeto utilizando imagens de satélite Sentinel-2 e em Rokni

et al. (2014), em que se aborda a extração de recursos hídricos e detecção de alterações usando imagens Landsat multitemporais. Dentre os métodos mais utilizados, Jiang et al. (2014) destacam os classificadores supervisionados, não supervisionados e os índices espectrais de água, sendo o último amplamente utilizado devido a facilidade computacional frente a precisão na detecção de corpos hídricos, aumentando a discrepância entre corpos de água e terra. McFeeters (1996) propôs em seus trabalhos o uso do índice NDWI, *Normalized Difference Water Index*, que segundo Xu (2006) é um dos métodos mais populares para a detecção de corpos hídricos, contudo, ressalta-se que este método é sensível a estruturas construídas (cidades) e muitas vezes resultam em corpos d'água superestimados.

O uso de imagens RADAR, *Radio Detection And Ranging*, também é frequentemente utilizado na identificação de corpos d'água com uso aquícola, considerando a qualidade das imagens e sua independência frente a eventos climáticos (MENESES et al., (2012); OTTINGER, CLAUSS, KUENZER (2016); PRASAD et al. (2019) e PETIT et al. (1992)). Contudo, as imagens de RADAR são menos comercializadas e mais específicas em termos de processamento e interpretação, devido às medidas de resoluções espaciais (linha de visada ou radial, transversal e azimute) dos sensores de radar que são bem mais complexas em comparação aos sensores multiespectrais e termais (MENESES et al., 2012).

Sob essa perspectiva, utilizando imagens Sentinel, classificação de índice espectral e técnicas de interpretação visual, o presente estudo objetivou mapear as estruturas produtivas da aquicultura do estado do Paraná classificadas em dois tipos principais: baterias de viveiros escavados, que se definem como estruturas de contenção de águas normalmente escavadas que podem ser de terra, alvenaria ou pedra, utilizadas para o manejo da produção de espécies aquícolas (REZENDE, BERGAMIN, 2013; SEBRAE, 2017) e; tanques-rede, definidos como o “sistema de cultivo intensivo em confinamento, com estruturas de rede, e boias, instalados em meio aquático” (SÃO PAULO, 2016, p.01). A identificação dessas estruturas foi realizada nos municípios mais representativos do conjunto da produção aquícola do estado do Paraná em 2018.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo

A área de estudo corresponde aos 18 municípios do estado do Paraná que juntos foram responsáveis por 75% da produção aquícola em quilograma no ano de 2018, de acordo com a Pesquisa da Pecuária Municipal

(IBGE, 2019b). Segundo proposta metodológica apresentada por Garagorry e Penteadó Filho (2012), estes municípios perfazem o G75 da produção aquícola do Estado (Figura 1).

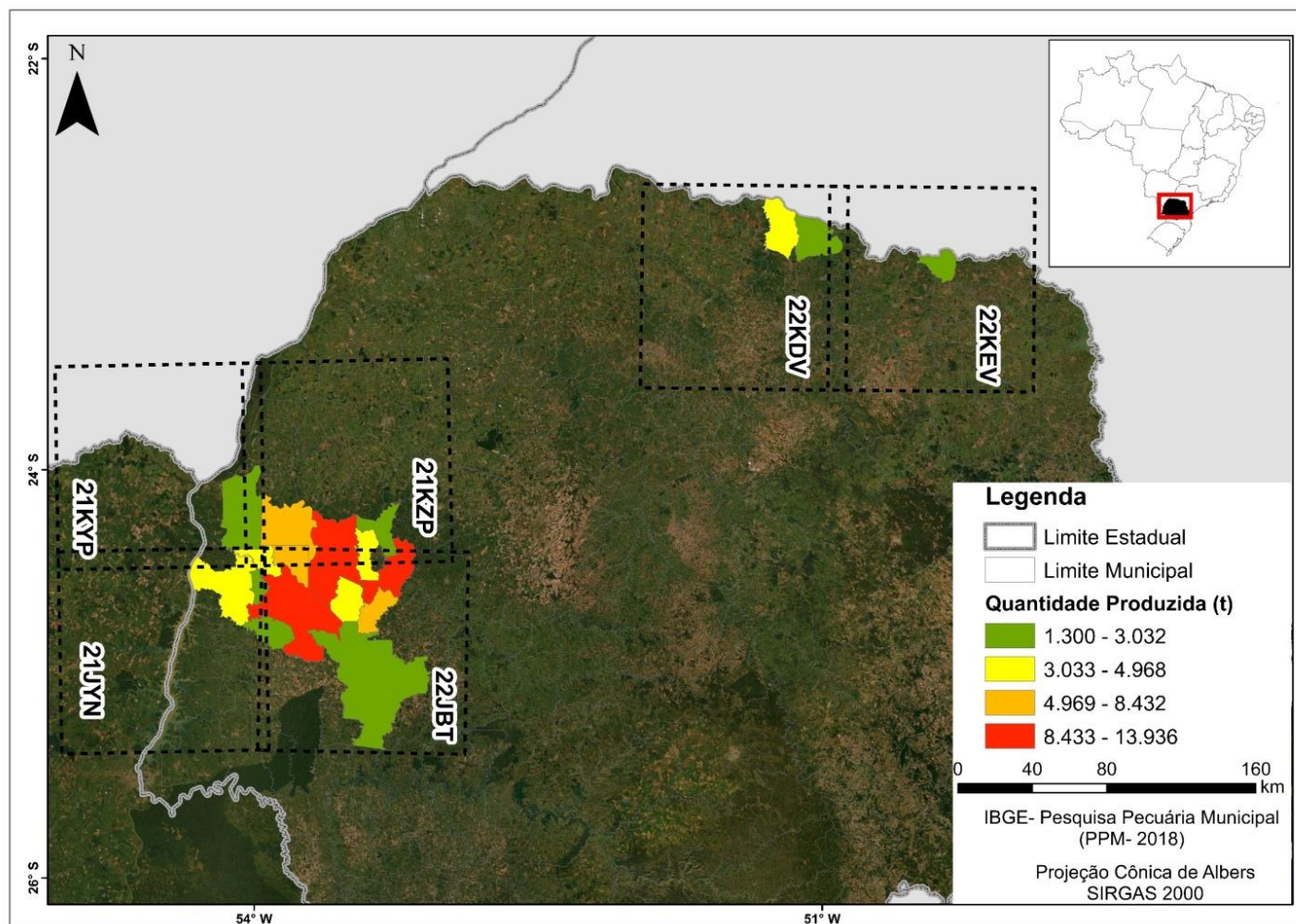


Figura 1. Área de estudo representada por meio do mapa temático da produção aquícola (kg) em 2018 com os intervalos das classes estabelecidas a partir da técnica Natural Breaks (GIRARDI, 2008), com destaque para os *tiles* do Sentinel utilizados. Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do IBGE (2019b), com utilização do *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

Coleta e tratamento das informações espaciais

A partir da definição da área de estudo, imagens orbitais obtidas pelo satélite Sentinel 2A e 2B, de média resolução espacial (10 m), alta capacidade de revisita (5 dias) (USGS, 2018) e gratuitas, foram adquiridas para o mapeamento das baterias de viveiros escavados. Foram utilizadas duas cenas (21XYP e 21JYN) datadas do dia 11 de abril de 2018 e duas cenas (21KZP e 22JBT) datadas do dia 26 de abril de 2018, ambas do sensor MSI do Sentinel-2B, para recobrir o oeste do Paraná, e duas cenas (T22KEV e T22KDV), do sensor MSI do Sentinel-2A, datadas do dia 13 de abril de 2018, para recobrir o norte do estado.

As imagens foram processadas com o objetivo de realçar as feições da superfície terrestre com presença de água. As bandas com resolução de 10 metros (azul-b2, verde-b3, vermelho-b4 e infravermelho próximo-b8), foram agrupadas através da ferramenta *Mosaic* disponível no *software* SNAP (ESA, 2017) e, em seguida, para discriminar e realçar apenas os corpos d'água, processou-se o índice proposto por McFeeters (1996) denominado *Normalized Difference Water Index* (NDWI), por meio da ferramenta *raster calculator* no *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017). A proposta do índice NDWI, segundo Du et al. (2016), é maximizar o comportamento espectral da água na banda do Verde (banda 3 para cenas Sentinel) e minimizar o comportamento espectral da água na região do Infravermelho Próximo (banda 8 para cenas Sentinel) a partir da seguinte operação algébrica (1) entre as bandas:

$$NDWI = (b3 - b8) / (b3 + b8) \quad (1)$$

O resultado deste índice se expressa por uma camada *raster* com resolução espacial nativa das bandas Verde e Infravermelho Próximo, em que os valores normalizados de cada pixel variam entre -1 (identificam comportamentos de outros materiais como, por exemplo, culturas agrícolas, matas nativas ou solo exposto) a 1 (identificam feições da superfície terrestre com comportamento espectral típico de água) (DU et al., 2016). Após a geração do índice, elaborou-se uma reclassificação do tipo binária em que os valores negativos, por não indicarem comportamento típico de água, foram agrupados somente em uma classe e os valores positivos, agrupados em outra classe. Assim, foram definidos de maneira preliminar os possíveis alvos indicativos da presença de baterias de viveiros escavados a serem mapeados por interpretação visual utilizando as imagens Sentinel (Figura 2).

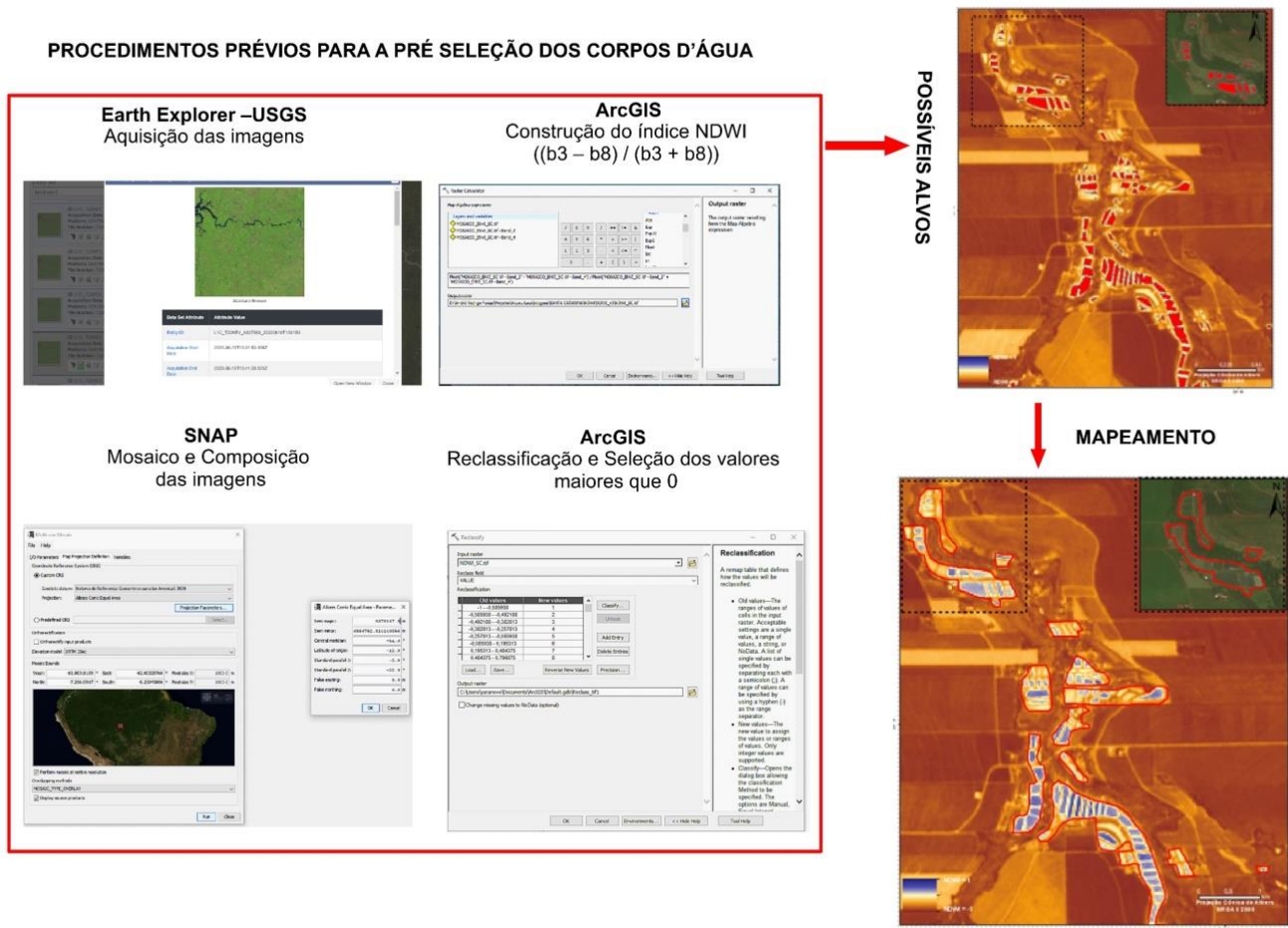


Figura 2. Sequência das etapas para a aquisição e tratamento das imagens visando o mapeamento dos viveiros escavados. Fonte: Elaboração dos autores a partir das imagens Sentinel 2B, com utilização do software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

No caso do mapeamento dos tanques-rede, as imagens Sentinel não suprimiram a necessidade de detalhamento destas estruturas dada sua resolução espacial de 10 metros. Assim, para viabilizar a identificação e vetorização das feições, foram utilizadas imagens do satélite *WorldView-2* de 50 cm de resolução espacial, acessadas via ferramenta Google Earth e também inseridas como camada on-line no ambiente do software de análise espacial (*Basemap* do software *ArcGIS* 10.6 - imagens com resolução temporal variando entre 25/08/2018 e 10/11/2021, a depender da área).

Mapeamento, análise e validação das estruturas aquícolas

A organização e operacionalização do mapeamento visual ocorreu a partir da construção de uma grade de inspeção de 3km x 3km, gerada a partir da ferramenta *create fishnet* no software *ArcGIS* 10.6 (ESRI, 2017). O propósito dessa rede quadriculada foi de sistematizar, organizar e facilitar o mapeamento por meio da

checagem visual e digitalização em tela. Definiu-se como métrica para o mapeamento a vetorização de baterias de viveiros escavados com área superior a 0,03 ha, valor determinado a partir dos alvos preliminares gerados no método NDWI, e adotou-se uma escala de visualização e aquisição dos vetores em 1:10.000, apropriada para a identificação das estruturas em cenas Sentinel bem como as estruturas em linhas localizadas em reservatórios, típicas de tanques-rede.

Os critérios para embasar a interpretação visual envolveram o reconhecimento de feições geométricas típicas de baterias de viveiros escavados e tanques-rede (Figura 3). Comumente as baterias de viveiros escavados são formadas por agregados de viveiros retangulares que otimizam o seu processo de construção e, posteriormente, despesca da produção, além de os diferenciar de corpos hídricos utilizados para outros fins como, por exemplo, para dessedentação animal (Figura 3 A-B). Os tanques redes, por sua vez, são dispostos no interior dos corpos d'água em linhas espaçadas (Figura 3 C).

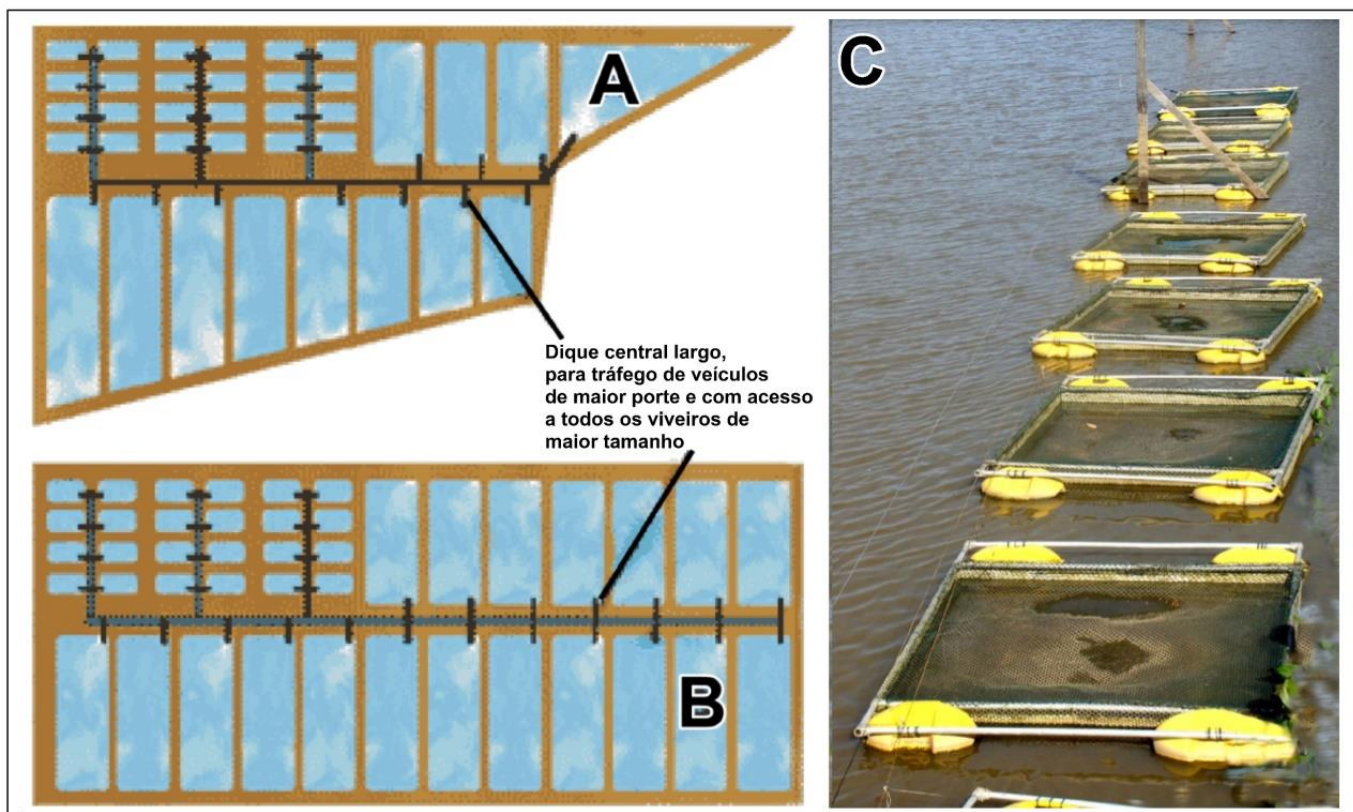


Figura 3 (A-B-C). Exemplos de estruturas de produção aquícola. **A** - Baterias de viveiros escavados em áreas de formato irregular, utilizados quando se tem a necessidade de um melhor aproveitamento da área. **B** – Formato regular, mais recomendado para a prática da aquíicultura. Fonte: Ono; Kubitza (2002, p.17). **C**- Estruturas de tanques-rede formada por gaiolas em formato quadrado, dispostas de maneira linear. Fonte Tavares et al. (2018, p.05).

A distribuição e concentração geográfica das baterias de viveiros escavados foram observadas utilizando técnicas de *Kernel estimation*, uma “alternativa usualmente aplicada para analisar o comportamento de padrões de pontos e estimar a intensidade pontual do processo em toda região de estudo, por meio de um raio de influência” segundo Carvalho e Câmara (2004, p.60). Com os dados obtidos neste estudo utilizou-se a metodologia de Rizzati et al. (2020) para o cálculo do raio de influência, considerando as dificuldades e similaridades de ambos os trabalhos.

A fim de realizar uma estimativa do potencial de produção presente na área mapeada gerada neste trabalho, utilizou-se o potencial estimado da produção no Paraná proposto por Francisco et al. (2020), que calcula uma produção de 54 t/ha/ano no estado para o cultivo da Tilápia, considerando manejos tecnificados, ou seja, produções que fazem o uso de ração balanceada, probióticos, aeradores, bombas de água, dentre outros fatores que buscam melhorar a produtividade. Para esse resultado, o autor considera que a criação da tilápia em viveiros escavados pode ser realizada com densidade de 5 peixes/m², com peso final de 0,9 kg em 300 dias de criação (FRANCISCO et al., 2020). O autor ressalta que o valor estimado da produtividade de 54 t/ha/ano poderá ser alterado de acordo com a espécie de peixe ou pela densidade/m² escolhida.

A validação das estruturas mapeadas ocorreu de forma indireta a partir da aquisição de dados secundários oficiais relacionados à produção aquícola, obtidos por meio de repositórios de acesso público e que atendem a diferentes processos legais de regulação e fiscalização da atividade econômica. Para a validação das baterias de viveiros escavados, foram correlacionados espacialmente dados pontuais de processos administrativos de licenciamento ambiental para práticas aquícolas (PNLA, 2020), dados pontuais de processos administrativos de outorga de água para fins aquícolas (IAP, 2020) e também dados auto declaratórios dos perímetros dos imóveis rurais cadastrados no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2019). As estruturas de tanques-rede foram validadas, exclusivamente, por meio da associação espacial dos polígonos que representam as áreas disponibilizadas pelo Sistema de Informação das Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para Fins de Aquicultura (SINAU, 2020).

O processo de validação, realizado em gabinete de maneira indireta com dados secundários, mostrou-se importante para análises de concentração e planejamento espacial da atividade aquícola. Contudo deve-se considerar pertinente e necessário empreender levantamentos de campo para um resultado mais apurado deste mapeamento o que, no entanto, não fez parte do escopo deste trabalho.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baterias de Viveiros Escavados

O índice NDWI, utilizado para destacar os corpos d'água como possíveis alvos de estruturas aquícolas durante o mapeamento, apresenta algumas limitações, pois nos valores resultantes do índice são detectados materiais com comportamentos espectrais similares e que também são destacados nesse processamento como, por exemplo, sombras em áreas declivosas e telhados em áreas urbanas. Diante desse contexto, e considerando a premissa de que nem todas as feições de corpo d'água são viveiros escavados, foram utilizadas técnicas de interpretação visual de imagens de satélite visando o refinamento dos limites das baterias de viveiros escavados e exclusão de áreas sem características aquícolas (Figura 4 A-B).

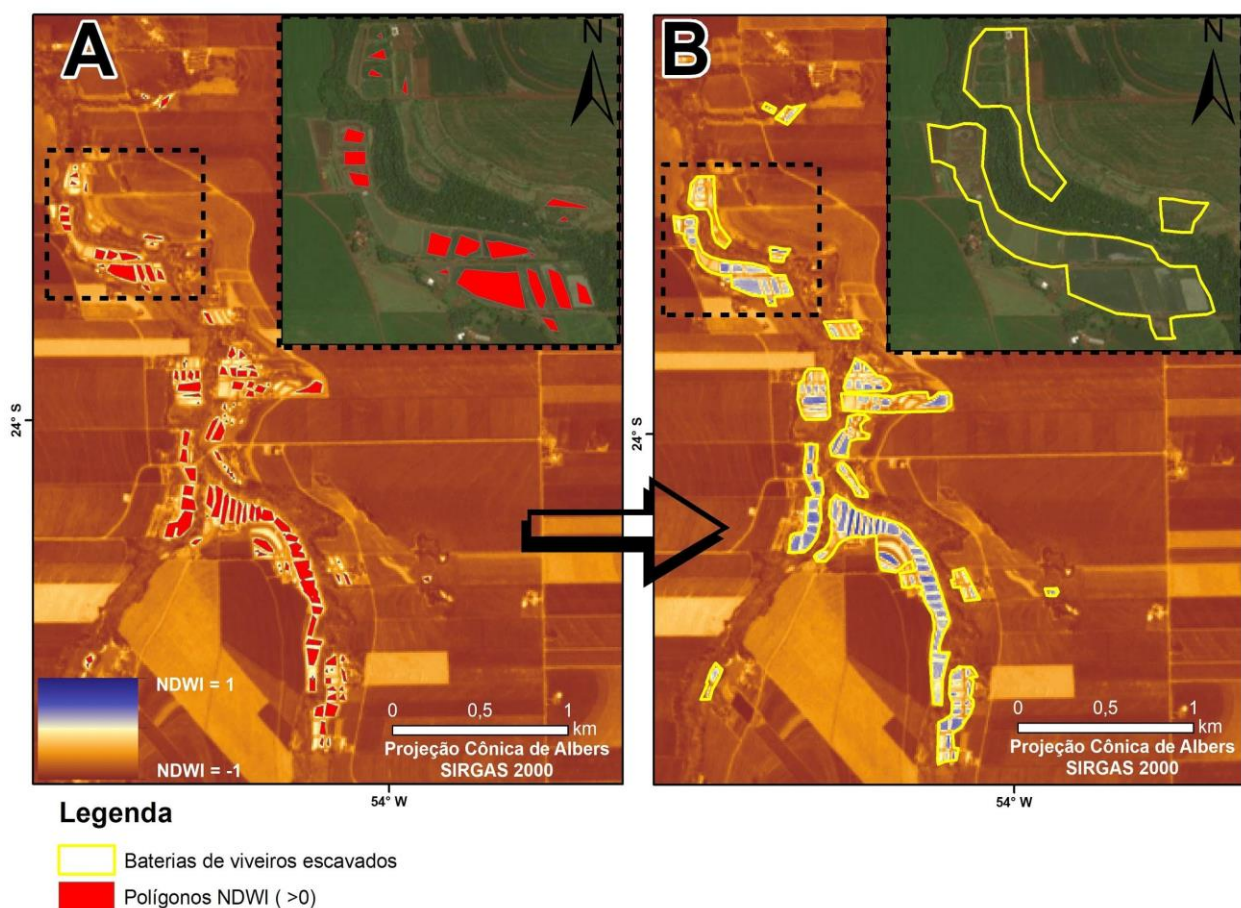


Figura 4 (A-B). Adequação de limites de viveiros escavados, após a aplicação do índice de NDWI. **A** - Os polígonos em vermelho representam as feições obtidas pelo NDWI, após a transformação do arquivo raster para *shapefile*. **B** - Polígonos de **A** ajustados manualmente por interpretação visual e vetorizados em conjuntos de baterias de viveiros escavados. Fonte: Elaboração dos autores a partir das imagens Sentinel 2B, com utilização do *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

Os alvos identificados de maneira automática por meio do índice NDWI estão associados a 10% das baterias de viveiros escavados mapeadas visualmente. Esta análise indica que 90% destes alvos identificados de maneira automática foram classificados como rios, áreas urbanas e sombra de relevo, confirmando as limitações descritas por Xu (2006). Outro ponto a ser considerado são as etapas do processo produtivo da atividade aquícola que alteram o padrão de identificação dos viveiros, ocasionando dificuldades à automatização do processo. Durante o período de despesca e renovação da água, que tem “duração em torno de 7 a 15 dias, cada viveiro é seco e passa por um processo de renovação, com tratamento de calagem e adubação” (RURAL, 2018, p.45) (Figura 5 A-B).

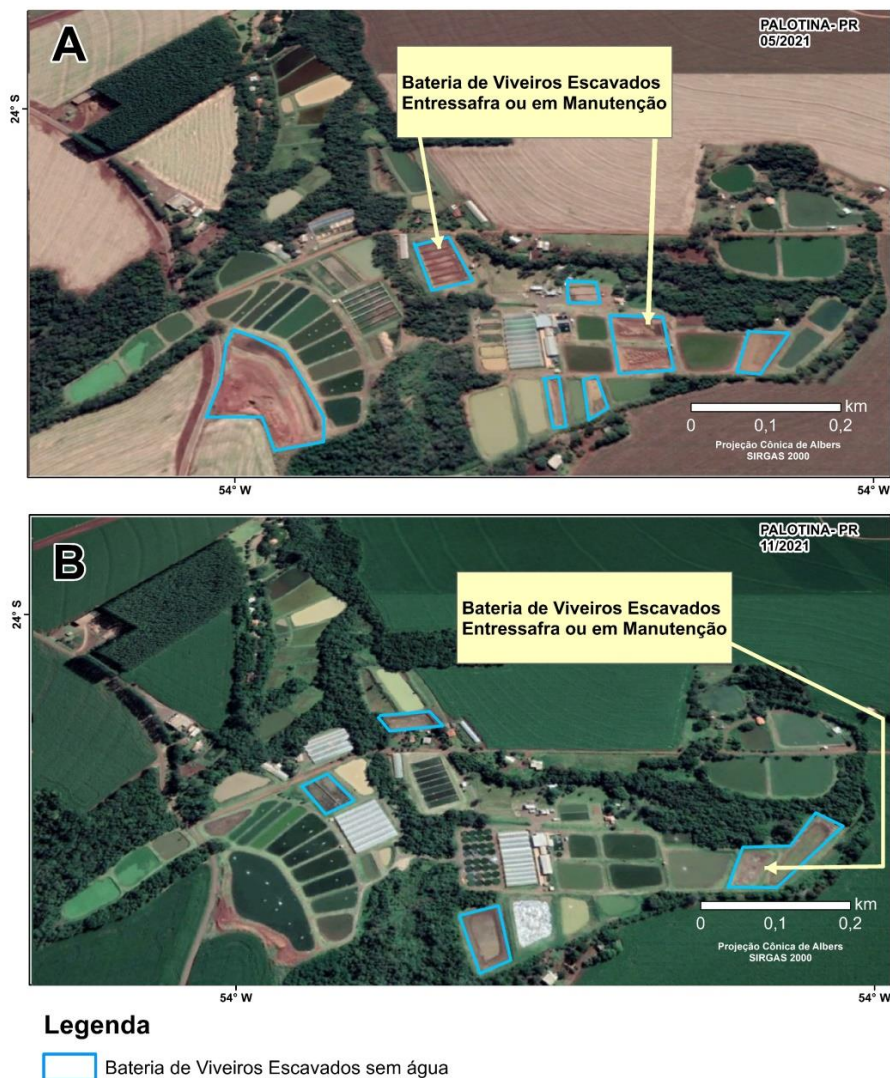


Figura 5 (A-B). Exemplos de baterias de viveiros escavados secos, com possíveis indicativos de períodos de entressafra e períodos de manutenção dos viveiros escavados. Fonte: Elaboração dos autores a partir do índice NDWI e representação por meio de imagens WorldView-2 com utilização do software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

A varredura visual da área de estudo para a realização da adequação dos limites e mapeamento das baterias de viveiros e dos tanques-rede abrangeu uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares, considerando a área dos municípios integrantes do G75 do Paraná em 2018, obtendo 2.412 polígonos representativos de baterias de viveiros escavados e 32 polígonos característicos de tanques-rede, ocupando respectivamente uma área total de 3.991 hectares e 68 hectares, com maior participação, em termos de área ocupada, dos municípios paranaenses de Toledo, Nova Aurora, Palotina e Assis Chateaubriand.

As formas características dos viveiros facilitaram o mapeamento das estruturas (Figura 6 A-D), como aqueles de tamanhos similares, com formato quadrado e retangular. Tais características são comuns, uma vez que facilitam o planejamento da produção e padronizam as operações de estocagem e despesca (RURAL, 2017). Ressalta-se, também, os viveiros construídos próximos a corpos d'água, característica que facilita a obtenção de água necessária para a constante manutenção dos viveiros (Figura 6-B-C).

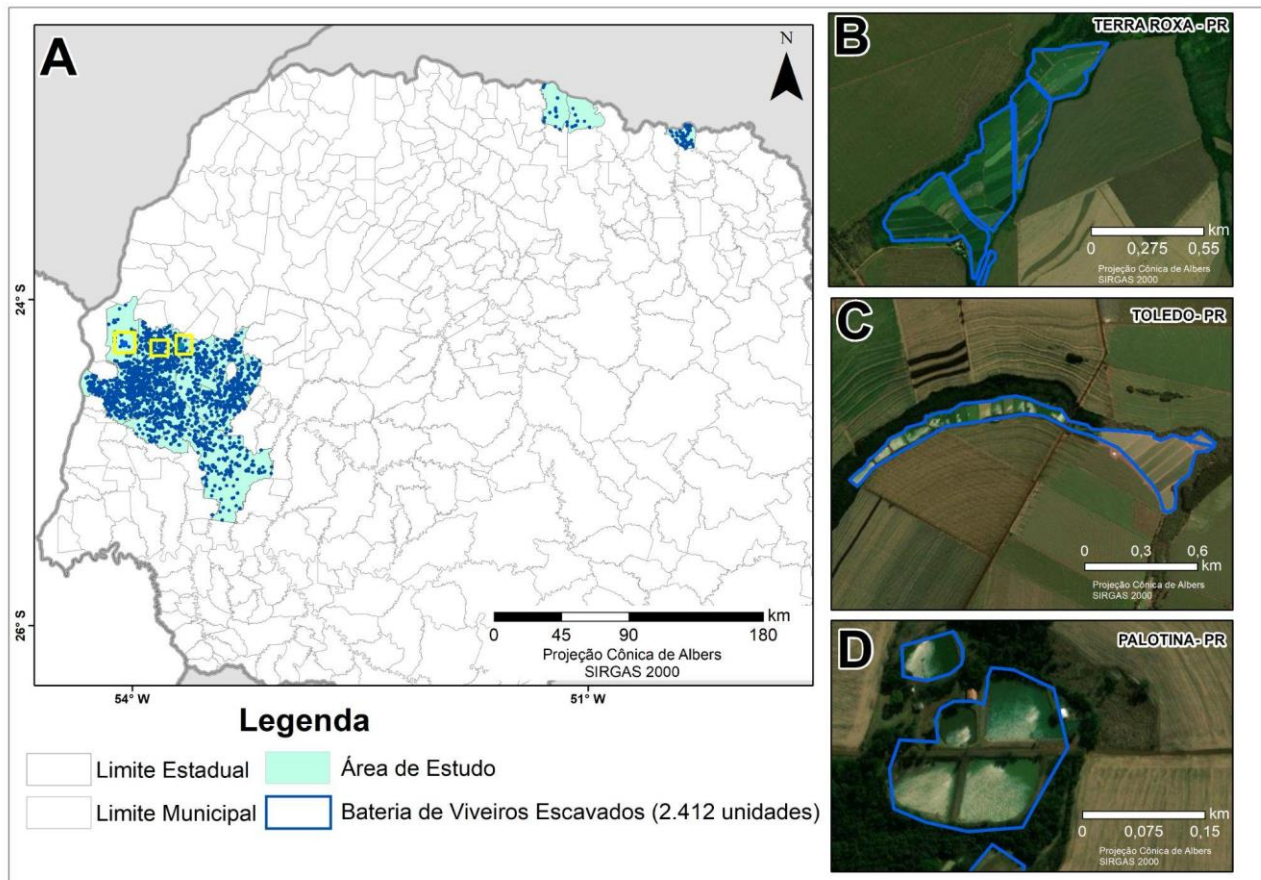


Figura 6 (A-B-C-D). **A** - Visão geral dos viveiros escavados mapeados no Estado do Paraná, com destaque em amarelo para os viveiros apresentados em B, C, D. **B** – Bateria de viveiros escavados no município de Terra Roxa, com formato retangular, característico de grandes propriedades e com a presença de mais de 40 viveiros escavados. **C** - Bateria de viveiros escavados em Toledo, com formato irregular que acompanha o curso de corpos d’água, com a presença de 20 viveiros escavados. **D** - Bateria de viveiros escavados em Palotina, típico de pequenas propriedades com 4 viveiros escavados com formato quadrado. Fonte: Elaboração dos autores a partir do índice NDWI e representação por meio de imagens *WorldView-2* de jul/2019, com utilização do software *ArcGIS* 10.6 (ESRI, 2017).

De acordo com o histograma (Figura 7), o tamanho das baterias de viveiros escavados mapeados durante esse trabalho varia entre 0,03 hectares e 33,72 hectares.

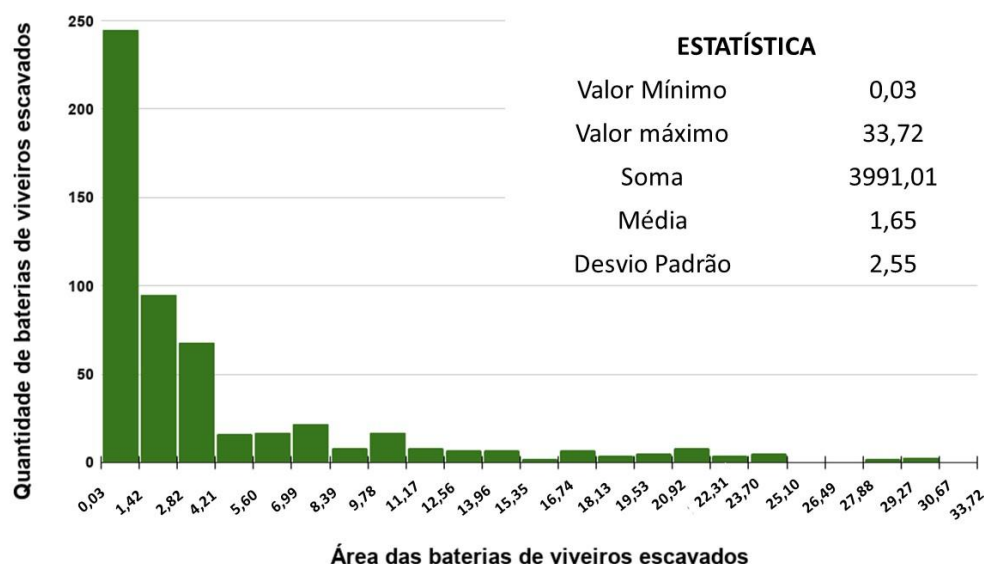


Figura 7. Distribuição da quantidade de baterias de viveiros escavados no eixo Y e o intervalo com a área dos viveiros escavados (ha) no eixo X. No interior do gráfico, um sumário estatístico indica o valor mínimo, valor máximo, a soma, média e o desvio padrão dos dados do mapeamento. Fonte: Elaboração dos autores a partir dos dados obtidos no estudo, 2020.

Das 2.412 baterias de viveiros escavados mapeadas, 78% possuem tamanhos variando de 0,03 até 2 ha. Dentre estas, 94% têm relação com os polígonos de imóvel rural do CAR (Cadastro Ambiental Rural) (SICAR, 2019), indicando que podem estar relacionadas a propriedades de agricultores familiares, tal como definido pela Lei nº 11.326 (BRASIL, 2006, p.01) que considera agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

- I- Não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;
- II- Utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;
- III- Tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento;
- IV- Dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.” (BRASIL, 2006, p.01).

A Lei nº 11.326 define que “aquiltores que explorem reservatórios hídricos com superfície total de até 2 ha (dois hectares), podem se beneficiar de programas de beneficiamento da agricultura familiar” (BRASIL, 2006, p. 01). A porcentagem elevada de baterias de viveiros escavados com tamanho inferior a 2 hectares e que tem relação espacial com os imóveis rurais, corrobora com as informações coletadas no Censo Agropecuário de 2017 do IBGE (2019a), que classificam 65% das propriedades com aquicultura na área de estudo como pertencentes à categoria de agricultura familiar.

As baterias de viveiros escavados foram classificadas a partir do método quantitativo de Quebras Naturais (Jenks), usualmente aplicado em trabalhos de classificação de dados por ter a capacidade de gerar um conjunto definido de classes temáticas baseadas em agrupamentos naturais que maximizem as diferenças entre classes (GIRARDI (2008); MATSUMOTO, CATÃO, GUIMARÃES (2017); OLIVEIRA (2018)). As classes foram formadas de acordo com os tamanhos das baterias viveiros escavados: Classe-I: áreas entre 0,03 ha e 2 ha; Classe-II: áreas maiores de 2 ha até 5,24 ha; Classe-III: áreas maiores de 5,24 ha até 12,75 ha; Classe-IV: áreas maiores de 12,75 ha até 33,72 ha. A concentração espacial das baterias de viveiros escavados, de acordo com as classes pré-definidas, foi observada por meio de mapas de estimativa de densidade de Kernel (RIZZATTI et al., (2020); Carvalho, Câmara (2004)), permitindo uma visualização espacial das áreas conforme Figura 8:

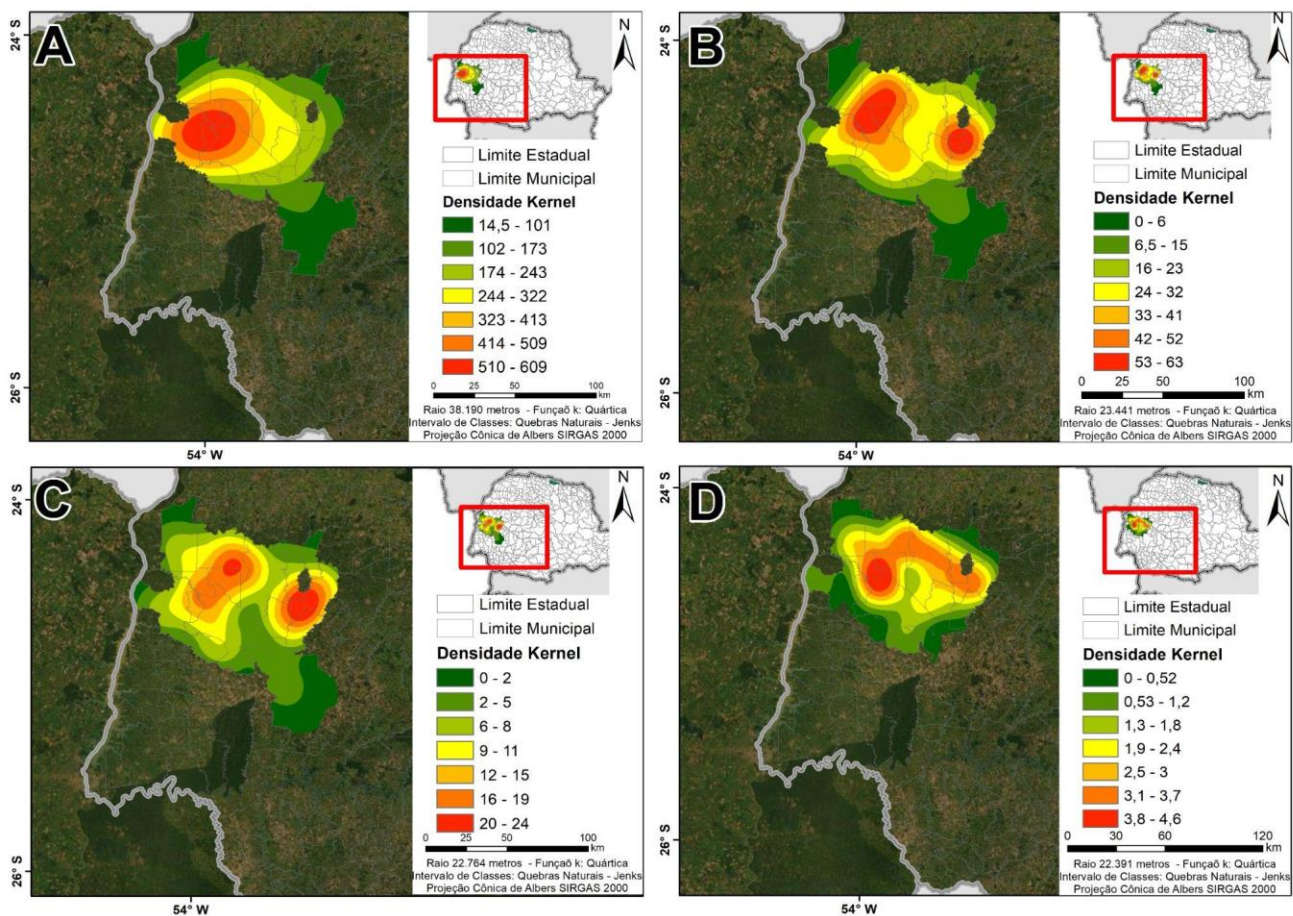


Figura 8. (A-B-C-D). Mapa de Kernel para os diferentes tamanhos de baterias de viveiros escavados mapeados e os seus respectivos raios (Rizzatti et al., 2020, p.47). **A** - Mapa de Kernel do conjunto de bateria de viveiros da classe I, com raio calculado de 38.190 m. **B** - Mapa de Kernel do conjunto de bateria de viveiros da classe II, com raio calculado de 23.441 m. **C** - Mapa de Kernel do conjunto de bateria de viveiros da classe III, com raio calculado de 22.764 m. **D** - Mapa de Kernel do conjunto de bateria de viveiros da classe IV, com raio calculado de 22.391 m. Fonte: Elaboração dos autores a partir da metodologia de Rizzatti et al. (2020, p.47), com utilização do software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

A classe I é a mais numerosa deste mapeamento, com 1.872 unidades, representando 78% das baterias de viveiros mapeadas. O mapa de calor demonstra apenas um núcleo principal de baterias de viveiros escavados, englobando a totalidade do município de Quatro Pontes e partes de Toledo, Marechal Cândido Rondon e Nova Santa Rosa (Figura 8-A). A classe II engloba 380 unidades, representando 16% das baterias de viveiros mapeadas. Observa-se a estruturação de dois núcleos principais: o mais numeroso abrange de maneira mais significativa os municípios de Nova Santa Rosa, Maripá e Palotina e o segundo núcleo envolve os municípios de Nova Aurora, Cafelândia, Tupãssi e Jesuítas (Figura 8-B). A classe III é composta por 135 unidades e a disposição dos núcleos se assemelha ao da classe II, com exceção do município de Nova Santa Rosa, que não apresenta uma grande concentração de baterias de viveiros escavados como na classe anterior (Figura 8-C). Já a classe IV apresenta as maiores baterias de viveiros, contudo, poucas unidades o compõem: apenas 25 feições que representam 1% das baterias mapeadas. Na sua disposição, é possível identificar a formação de um núcleo principal com os municípios de Nova Santa Rosa, Maripá e Toledo (Figura 8-D).

A Figura 9 apresenta exemplos das baterias de viveiros mapeadas em cada uma das classes analisadas:

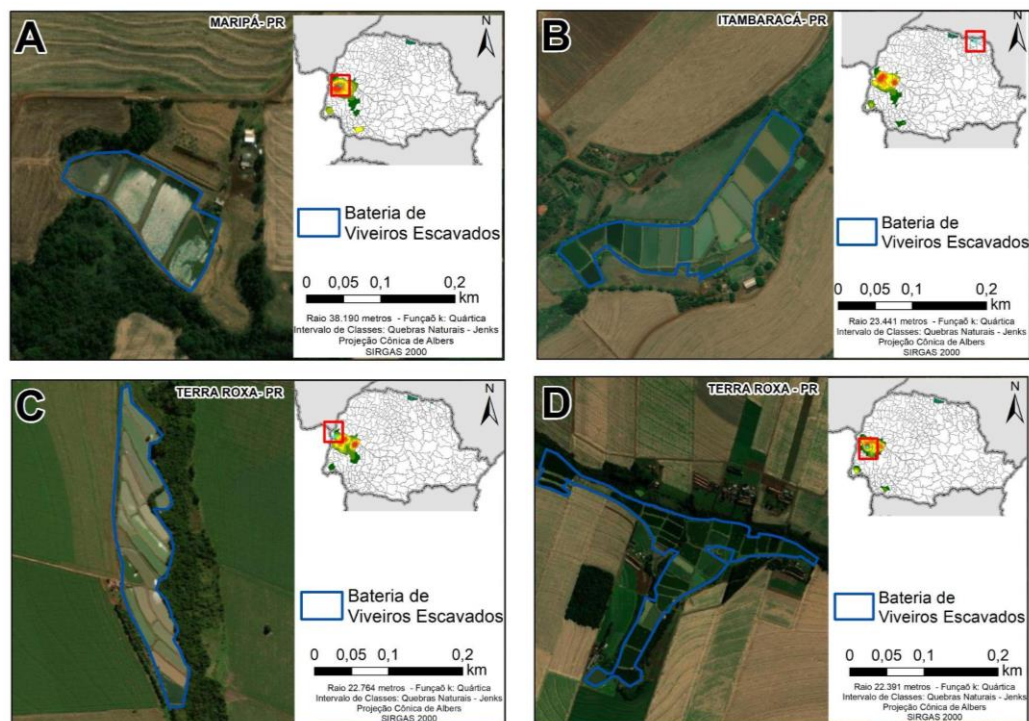


Figura 9 (A-B-C-D). Exemplo dos viveiros mapeados nas classes I, II, III e IV. **A** - Bateria de viveiros escavados típicos da classe I, composto por quatro viveiros em sua maioria retangulares. **B** - Bateria de viveiros escavados da classe II, com a presença de 15 viveiros escavados que variam entre formatos quadrados e retangulares. **C** - Bateria de viveiros escavados da classe III, com a presença de 20 viveiros com formato retangular e alongados. **D** - Bateria de viveiros escavados da classe IV, com a presença de 37 viveiros escavados, com formatos variando entre retangulares e quadrados. Fonte: Elaboração dos autores a partir do índice NDWI e representação por meio de imagens *WorldView-2* de jul/2019, com utilização do *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

Em sua maioria, os viveiros mapeados apresentam formato retangular, mas também foram observados viveiros com formato circular e sem forma definida (irregulares) que, por sua vez, foram classificados como baterias de viveiros devido à quantidade de unidades concentradas em uma mesma área e/ou a presença de estruturas indicativas de apoio ao manejo da produção como, por exemplo, galpões para armazenagem nas proximidades das baterias. A bateria de viveiros escavados típicos da classe I é composta por uma quantidade pequena de viveiros por bateria que variam de 5 a 8 unidades (Figura 9-A). A classe II apresenta em média 15 viveiros escavados (Figura 9-B). A classe III apresenta, em média, 25 viveiros escavados em cada bateria (Figura 9-C). A classe IV, por fim, são característicos de grandes propriedades e apresentam, em média, 40 viveiros escavados por bateria (Figura 9-D).

Tanques-Rede

O mapeamento dos tanques-rede resultou na identificação e vetorização de 32 polígonos com linhas de tanques rede concentradas (Figura 10 A), que variam entre 0,1 ha e 9 ha, onde 89% destes tem área superficial maior que 1 ha (Figura 10 B-C-D). O município de Alvorada do Sul possui relevante participação dessa forma de cultivo, pois possui 66% das estruturas mapeadas e todas com área superior a 1 ha.

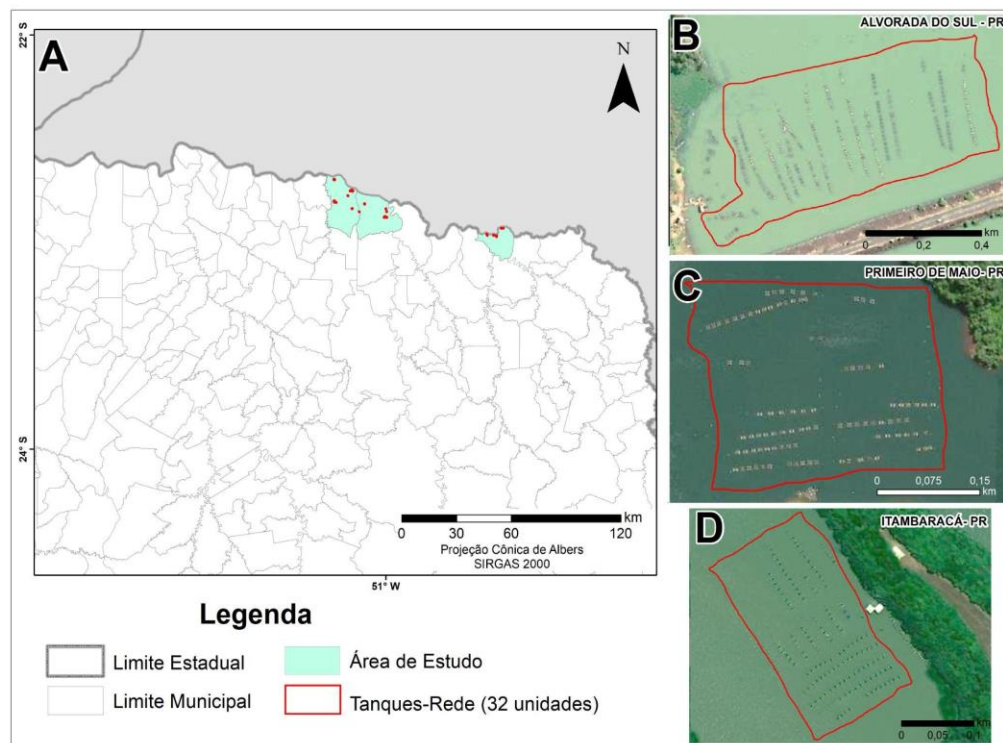


Figura 10 (A-B-C-D). A - Visão geral dos tanques-rede mapeados no Estado do Paraná, com destaque em vermelho para os tanques-rede em destaque em B, C, D. B – Exemplos de tanques-rede no município de Alvorada do Sul. C – Exemplos de tanques-rede no município de Primeiro de Maio. D – Exemplos de tanques-rede no município de Itambaracá. Fonte: Elaboração própria a partir das imagens WorldView-2 de set/2019, com utilização do software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

A totalidade dos tanques-rede mapeados na área de estudo tem suas gaiolas em formato quadrado ou retangular. As linhas de tanques-rede estão posicionadas próximas à margem, característica que facilita o seu manejo. As linhas têm em média 80 metros, com um espaçamento de 20 metros, contudo em alguns casos é possível constatar uma aproximação maior entre as linhas, algo não recomendado pois dificulta a passagem da água pelas gaiolas. A identificação dos tanques-rede demonstra a importância desse tipo de cultivo para o norte do Paraná, informação apoiada por Barroso et al. (2018, p.113), que associa este resultado às características naturais ali encontradas, fundamentada na presença do rio Paranapanema.

Análise integrada dos resultados

Como forma de sintetizar os resultados do mapeamento tanto das baterias de viveiros escavados, quanto dos tanques-rede, a Tabela 1 apresenta os dados do mapeamento para os municípios que compõem o G75 do estado do Paraná, além dos dados de produção aquícola do IBGE (2019b) e potencial de produção estimado dos viveiros (FRANCISCO et al., 2020). Os dados indicam que apenas cinco municípios (Toledo, Nova Aurora, Palotina, Assis Chateaubriand e Marechal Cândido Rondon) respondem por 56% da área mapeada com estruturas aquícolas. Os resultados do mapeamento confirmam a relevância do oeste paranaense para a cadeia aquícola do Estado e do País, principalmente com relação às baterias de viveiros escavados, e os municípios da região norte do Paraná, com sua produção apoiada nas estruturas de tanques-rede:

Tabela 1. Produção aquícola (t) em 2018 (IBGE, 2019b), área mapeada das baterias de viveiros escavados, tanques-rede e a área total mapeada (ha), seguida pela frequência relativa (%) da área total das estruturas aquícolas mapeadas na área de estudo e o potencial produtivo estimado (FRANCISCO et al., 2020, p.8).

Município	Produção aquícola - 2018 (t)	Área ocupada		Área total mapeada (ha)	Frequência relativa (%)	Potencial produtivo estimado (t/ha/ano)*
		viveiros escavados (ha)	tanques-rede (ha)			
Toledo	9 656,00	614,51	0,00	614,51	15,14	33 183
Nova Aurora	13 936,24	444,81	0,00	444,81	10,96	24 020
Palotina	7 258,00	425,45	0,00	425,45	10,48	22 974
Assis Chateaubriand	8 546,00	422,00	0,00	422,00	10,4	22 788
Marechal Cândido Rondon	4 000,00	364,84	0,00	364,84	8,99	19 701
Nova Santa Rosa	4 820,20	295,15	0,00	295,15	7,27	15 938
Maripá	7 268,00	272,25	0,00	272,25	6,71	14 701
Cascavel	1 377,85	246,79	0,00	246,79	6,08	13 327
Cafelândia	6 804,72	186,87	0,00	186,87	4,60	10 091
Terra Roxa	2 850,00	141,26	0,00	141,26	3,48	7 628
Tupãssi	4 969,00	138,68	0,00	138,68	3,42	7 489
Jesuítas	4 543,50	102,25	0,00	102,25	2,52	5 521
Quatro Pontes	2 311,00	90,84	0,00	90,84	2,24	4 905
Ouro Verde do Oeste	1 736,10	88,03	0,00	88,03	2,17	4 754
Formosa do Oeste	3 033,00	76,47	0,00	76,47	1,88	4 129
Itambaracá	2 142,00	62,62	10,13	72,75	1,79	3 381
Alvorada do Sul	4 650,00	10,85	45,04	55,89	1,38	586
Primeiro de Maio	1 300,00	7,35	12,92	20,27	0,50	397
Total G75	91 201,60	3 991,02	68,09	4 059,11	---	215 515

* Potencial de produção estimado com base no potencial produtivo estimado (FRANCISCO et al., 2020, p.8), considerando apenas a área mapeada das baterias de viveiros escavados. Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados do IBGE (2019b) e pelos resultados obtidos.

Por meio da comparação dos resultados do mapeamento em relação a produção aquícola, conforme registrado pelo IBGE (IBGE, 2019b), houve uma correspondência entre os dados de produção e a área mapeada na maioria dos municípios analisados.

A fim de entender a relação entre a produção e a área mapeada, tomou-se como base a estimativa de 54 t/ha/ano, no estado do Paraná, em produções tecnificadas de tilápia (FRANCISCO et al. 2020). Esta espécie corresponde a 99% da produção aquícola na área de estudo (IBGE, 2019b). Supondo que todos os produtores adotassem o sistema intensivo de criação, os resultados da Tabela 1 indicam que a região de estudo poderia apresentar potencial produtivo estimado de 215515 t de peixes ano, considerando uma área produtiva de 3991 ha. Ou seja, por meio do mapeamento realizado das áreas com viveiros escavados e considerando um sistema padronizado e intensivo de produção, o potencial produtivo estimado poderia atingir valores 136% superiores aos registrados pelo IBGE (2019b).

Ressalta-se, no entanto, as limitações dessas correlações, uma vez que apenas o volume da produção aquícola é registrado no levantamento apresentado pelo IBGE e não a área ocupada por suas estruturas. Outras diferenças relevantes devem ser consideradas como, por exemplo, a profundidade da lâmina d'água, sistemas não mapeados com *raceways* cobertos por estufas e a diversidade das espécies cultivadas, o que faz com que as comparações entre área e produção não apresentem uma relação linear como ocorre no caso de culturas agrícolas. Informações auxiliares aos dados de produção, portanto, são fundamentais para a compreensão da atividade econômica e o mapeamento das estruturas aquícolas, proposta neste trabalho, pode ser relevante subsídio nesse processo.

Validação das Estruturas Aquícolas

Uma validação preliminar do mapeamento foi realizada a partir do uso de dados georreferenciados obtidos em bases de dados públicas (Figura 11): PNLA (2020), IAP (2020), SINAU (2020) e SICAR (2019):

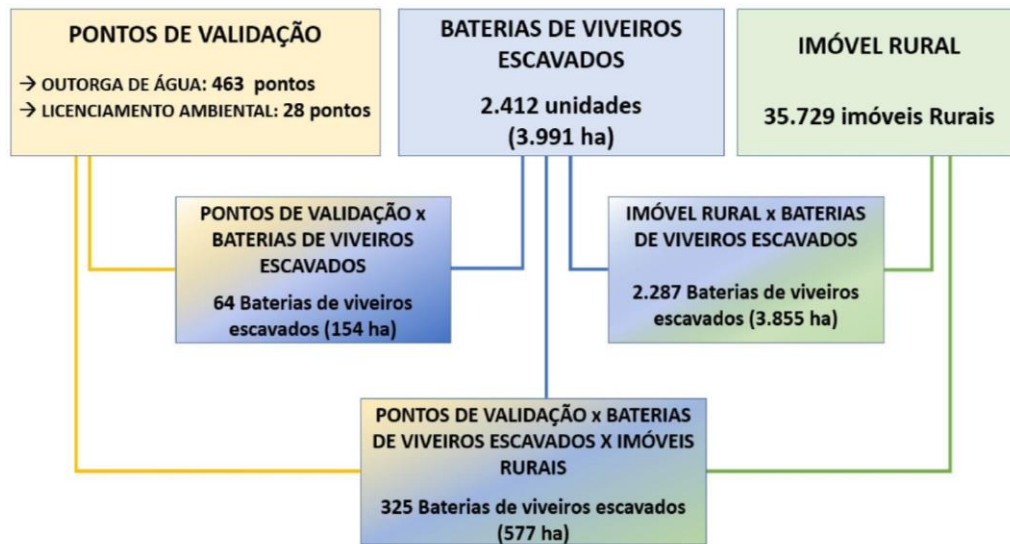
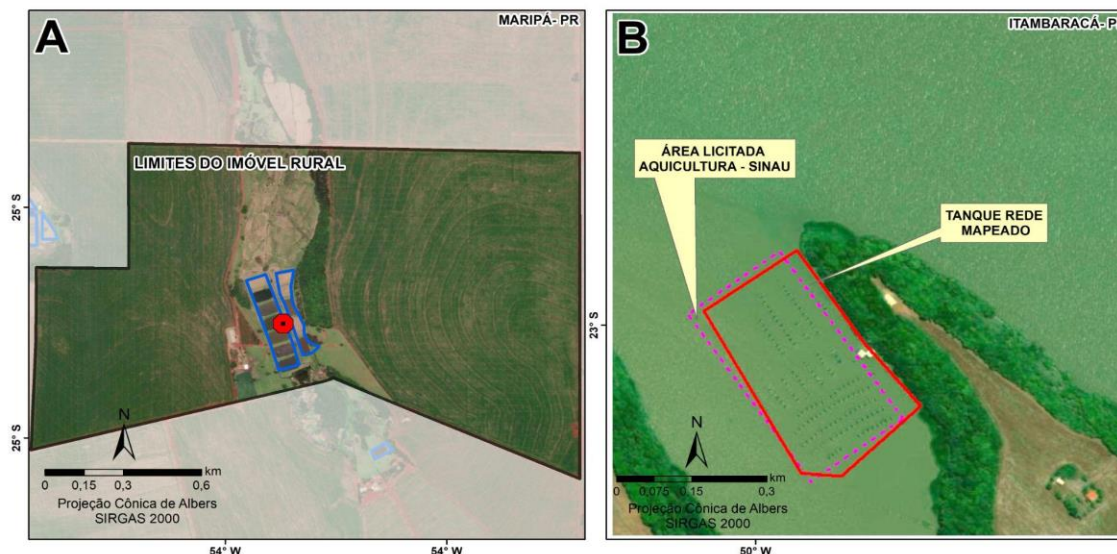


Figura 11. Fluxograma do processo de validação das unidades das baterias de viveiros escavados com os dados de outorga IAP (2020), licenciamento (PNLA, 2020) e imóvel rural (SICAR, 2019) presentes na área de estudo. Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Nesta proposta metodológica de validação por dados secundários oficiais, baterias de viveiros escavados mapeadas foram consideradas validadas caso atendessem ao menos um dos seguintes critérios: a) existência de, pelo menos, um ponto georreferenciado oriundo do PNLA (2020) ou IAP (2020) no interior da bateria de viveiros ou; b) existência de, pelo menos, um ponto georreferenciado no interior de um imóvel rural (SICAR, 2019) que apresente uma ou mais baterias de viveiros escavados mapeadas. A Figura 12-A traz um exemplo de 2 baterias de viveiros escavados, validadas com os dados do portal do licenciamento ambiental de 2020, no

município de Maripá. A Figura 12-B apresenta um caso de validação das linhas de tanques-rede, onde os tanques-rede mapeados interceptam o polígono oriundo do SINAU (2020), no município de Itambaracá.



Legenda

- Bateria de Viveiros Escavados
- Tanques-Rede
- Área Licenciada Aquicultura (SINAU)
- Licenciamento Ambiental Aquicultura (PNLA (2020))
- Imóvel Rural (CAR - 2019)

Figura 12 (A-B). Exemplos de estruturas validadas. A - Baterias de viveiros escavados, validadas com os dados do portal do licenciamento ambiental de 2020, no município de São Miguel do Iguaçu. B- Tanques-rede, validados com os dados do Sistema de Informação das Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para Fins de Aquicultura de 2020 em Itambaracá. Fonte: Elaboração própria a partir das imagens WorldView 2 - set/2019, com utilização do software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2017).

Destas análises é possível destacar que 81% das baterias de viveiros escavados estão associadas apenas aos imóveis rurais do CAR (SICAR, 2019), sem associação com nenhum dado de licenciamento ambiental e, portanto, consideradas não validadas. Entretanto, desse conjunto, 85% são imóveis com viveiros menores que 2 ha, informação que pode estar relacionada à Resolução nº 14 (SEDEST, 2020, p.03) que torna dispensáveis de licenciamento ambiental os empreendimentos menores que 3 ha:

“Art. 6º Ficam passíveis de Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental - DLAE os empreendimentos e atividades aquícolas classificados como de porte menor que 3 ha para cultivo de peixe e carnicultura em viveiros escavados.” (SEDEST, 2020, p.03).

Com relação a validação dos tanques-rede, estas estruturas apresentaram maior percentual de validação, correspondendo à 82% dos tanques mapeados. Tal constatação pode estar relacionada ao fato de que os tanques-rede estão contidos nas águas da União, que possuem um sistema integrado de informações

para aquicultura (SINAU). Esse sistema poderia ser replicado para os viveiros escavados, integrando e facilitando o acesso à gestão da informação.

A Tabela 2 apresenta os dados de validação das baterias de viveiros e as linhas de tanques-rede. Destaca-se que, dos 18 municípios mapeados, apenas Jesuítas e Ouro Verde do Oeste não possuíam dados de validação, e alguns outros municípios, como Tupãssi e Cafelândia, resultaram em um baixo índice de validação visto que possuem apenas 2 pontos de registro de outorga de água para aquicultura.

Tabela 2. Comparativo dos valores da área mapeada com a área validada, para as baterias de viveiros escavados validadas com os dados de licenciamento do portal do licenciamento ambiental e do Instituto Ambiental do Paraná, ambos de 2020, e das estruturas de tanques-rede, validados com os dados do Sistema de Informação das Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para Fins de Aquicultura de 2020.

Município	Viveiros escavados (ha)	Validação Bateria de Viveiros Escavados		Tanques Rede (ha)	Validação Tanques Rede	
		Área (ha)	% Relativa		Área (ha)	%Relativa
Toledo	614,51	143,11	23,29	0,00	0,00	0,00
Nova Aurora	444,81	59,93	13,47	0,00	0,00	0,00
Palotina	425,45	46,83	11,01	0,00	0,00	0,00
Assis Chateaubriand	422	28,55	6,77	0,00	0,00	0,00
Marechal Cândido Rondon	364,84	64,39	17,65	0,00	0,00	0,00
Nova Santa Rosa	295,15	64,47	21,84	0,00	0,00	0,00
Maripá	272,25	84,63	31,09	0,00	0,00	0,00
Cascavel	246,79	31,62	12,81	0,00	0,00	0,00
Cafelândia	186,87	5,48	2,93	0,00	0,00	0,00
Terra Roxa	141,26	12,8	9,06	0,00	0,00	0,00
Tupãssi	138,68	2,23	1,61	0,00	0,00	0,00
Jesuítas	102,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quatro Pontes	90,84	23,78	26,18	0,00	0,00	0,00
Ouro Verde do Oeste	88,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formosa do Oeste	76,47	4,62	6,04	0,00	0,00	0,00
Itambaracá	62,62	4,37	6,98	10,13	7,29	71,96
Alvorada do Sul	10,85	0,00	0,00	45,04	39,84	88,45
Primeiro de Maio	7,35	0,00	0,00	12,92	7,51	58,13
Total G75	3 991,02	576,81	14,45	68,09	54,64	80,25

Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

As limitações para realização de validação em escritório das estruturas aquícolas estão relacionadas principalmente a ausência de maior integração entre os sistemas de registro, licenciamento e controle ambiental da aquicultura bem como ausência importante de dados em termos de organização da cadeia produtiva. Em alguns casos, como nos registros de 1430 propriedades com licenciamento para fins aquícolas presentes no IAP, os dados disponíveis não estão associados a uma referência territorial, o que seria relevante

em termos de planejamento da atividade. A associação desses conjuntos de dados ao mapeamento proposto nesse estudo pode ser uma significativa contribuição à resolução desse gargalo.

IV. CONCLUSÕES

O mapeamento das unidades de produção aquícola do estado do Paraná representa iniciativa inédita de representação cartográfica das estruturas produtivas associadas a esta atividade econômica. A partir da integração de dados secundários de produção, disponibilidade de imagens de satélite multiespectrais e a utilização de ferramentas consolidadas de sensoriamento remoto como geração de índice espectral NDWI e técnicas de interpretação visual, foram identificadas e mapeadas as estruturas típicas de manejo da aquicultura, amplamente baseado em viveiros escavados e tanques-rede.

No caso dos viveiros escavados, os resultados demonstram que 78% das estruturas mapeadas possuem tamanho inferior ou igual a 2 ha, localizados principalmente no município de Quatro Pontes, Toledo, Marechal Cândido Rondon e Nova Santa Rosa na região Oeste do Estado. Conjuntos maiores de viveiros escavados, possuindo em média 40 unidades em cada bateria, representam apenas 1% das feições mapeadas e estão localizadas principalmente nos municípios de Nova Santa Rosa, Maripá e Toledo. Já no caso dos tanques-rede, as estruturas mapeadas estão distribuídas no Norte do Paraná, com destaque ao município de Alvorada do Sul.

A proposta metodológica de validação indireta do mapeamento a partir da integração de dados secundários oriundos de registros administrativos e processos formais de órgãos relacionados à aquicultura bem como dados de identificação de imóveis rurais, possibilitou avaliar os resultados gerados a partir das técnicas de sensoriamento remoto, além de evidenciar o potencial a ser explorado na integração entre os dados mapeados e os registros formais que apoiam relevantes políticas públicas

Existem oportunidades de desenvolvimento científico do processo de mapeamento que estão relacionadas a dois aspectos principais: de ordem material, refere-se à possibilidade de utilização de imagens de satélite com maiores resoluções espaciais, com incrementos na identificação das feições por meio de seus respectivos comportamentos espectrais; de ordem metodológica, relacionada ao desenvolvimento de algoritmos com emprego de inteligência artificial que sejam capazes de reconhecer as geometrias típicas e demais características das unidades de produção aquícola que, associadas com o comportamento espectral, potencialize a identificação dos alvos, especialmente para aplicação nacional, considerando as particularidades fundiárias e ambientais de cada bioma brasileiro.

A identificação e o mapeamento remoto de áreas com atividade aquícola por viveiros escavados e tanques-rede no estado do Paraná é um processo complementar na aquisição de informações sobre essa atividade econômica e, associada a dados estratégicos sistematizados por outros órgãos especializados como as agências estaduais de assistência técnica rural, aquicultura e pesca, e órgãos reguladores quanto ao uso da água e prática da atividade aquícola, são de extrema importância para subsidiar o processo de tomada de decisão por parte de gestores públicos e privados nos temas estruturais da aquicultura. Isso inclui políticas públicas, regulação, proteção ambiental, rastreabilidade e investimentos produtivos, com potencial de promover um grande aumento de renda por área explorada e impulsionar o desenvolvimento da agricultura familiar, predominante na região de estudo.

Agradecimentos

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pelo financiamento do Projeto BRS-Aqua.

V. REFERÊNCIAS

- ALQURASHI, A.; KUMAR, L. Investigating the Use of Remote Sensing and GIS Techniques to Detect Land Use and Land Cover Change: A Review. *Advances in Remote Sensing*. 2, 2, p. 193-204, 2013.
- ALVES, T.S.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B.B.; AYRES, F. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal- SP, 30, 1, p.46-57, 2009.
- BARROSO, R. M.; MUÑOZ, A. E. P.; TAHIM, E. F.; WEBBER, D. C.; ALBUQUERQUE FILHO, A. C.; PEDROSA FILHO, M. X.; TENÓRIO, R. A.; CARMO, F. J.; BARRETO, L. E. G. S.; MUEHLMANN, L. D.; SILVA, F. M.; HEIN, G. Diagnóstico da cadeia de valor da tilapicultura no Brasil. *Embrapa*. Brasília, DF, 181p., 2018.
- BRASIL. Lei nº 11.326 de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. *Diário Oficial da União*, v. 25, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm. Acesso em: 10 mar. 2021.
- BUITRAGO, J.; RADA, M.; HERNÁNDEZ, H.; BUITRAGO, E. A Single-Use Site Selection Technique, Using GIS, for Aquaculture Planning: Choosing Locations for Mangrove Oyster Raft Culture in Margarita Island, Venezuela. *Environmental Management*, 35, 5, p.544-556, 2005.
- CARLSEN, H. V.; FARIAS, A. R.; FONSECA, M. F.; MAGALHÃES, L. A. Mapeamento de viveiros escavados no estado de Rondônia por meio de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais. São José dos Campos: INPE, 2019. p. 1-5
- CARVALHO, M.S., CÂMARA, G. Cap.2 - ANÁLISE ESPACIAL DE EVENTOS. DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

- DINIZ, C.; CORTINHAS, L.; PINHEIRO, M.; SADECK, L. & FILHO, A.; BAUMANN, L.; ADAMI, M.; SOUZA FILHO, P. W. A Large-Scale Deep-Learning Approach for Multi-Temporal Aqua and Salt-Culture Mapping. *Remote Sensing*. 13. 1415. 2021.
- DING, F. Study on information extraction of water body with a new water index (NWI). *Science of Surveying and Mapping*, 34, 4, p.155–158, 2009.
- DU, Y., ZHANG, Y., LING, F., WANG, Q., LI, W.; LI, X. Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*. 8, 354, p. 1-19, 2016.
- EMBRAPA. Brasil inicia o maior projeto de pesquisa já elaborado para o desenvolvimento da aquicultura. 5p., 3 jul. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/35429495/brazil-starts-the-biggest-research-project-ever-elaborated-to-develop-aquaculture>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. SNAP - Sentinel Application Platform v6.0.7. 2017. Disponível em: <http://step.esa.int>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- ESRI-Environmental Systems Research Institute. ArcGIS: Professional GIS for desktop, v. 10.6. Software, 2017.
- FAO-Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Roma, 227p., 2018.
- FRANCISCO, H. R.; COLDEBELLA, A.; CORRÊIA, A. F.; FEIDEN, A. Spatial analysis of point events to estimate the productive potential of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Research, Society and Development*. 9, 9, p. e855998038, 2020.
- GARAGORRY, F. L.; PENTEADO FILHO, R. DE C. Concentração espacial e dinâmica de produtos agropecuários. Brasília, DF: Embrapa SGE, 72p., 2012. Disponível em: <http://www22.sede.embrapa.br/web/sge01/estatisticaagricola/dinamica/produtosagropec.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2019.
- GIRARDI, E. P. Proposição de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 349p.
- HASSEN, M.B.; PROU, J. A GIS-based assessment of potential aquacultural nonpoint source loading in an Atlantic bay (France). *Ecological Applications*, 11, 3, p.800-814, 2001.
- IAP-Instituto Ambiental do Paraná. Licenciamento Ambiental - Atividade Aquícola. 2020. Disponível em: <http://www.sga.pr.gov.br/sga-iap/consultarProcessoLicenciamento.do?action=iniciar>. Acesso em: 19 mar. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo Agropecuário 2017. Número de estabelecimentos agropecuários com aquicultura, por tipologia, espécie criada na aquicultura, condição do produtor em relação às terras, grupos de atividade econômica e grupos de área total. 2019a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6938>. Acesso em: 01 out. 2019.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Pesquisa Pecuária Municipal- PPM. Produção da aquicultura, por tipo de produto. 2019b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 01 out. 2019.

- JIANG, H.; FENG, M.; ZHU, Y.; LU, N.; HUANG, J.; XIAO, T. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6, 6, p. 5067–5089. 2014.
- KAPLAN, G.; AVDAN, U. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50,1, p.137-143, 2017.
- MATSUMOTO, P. S. S.; CATÃO, R.; GUIMARÃES, R. B. Mentiras com mapas na Geografia da Saúde: métodos de classificação e o caso da base de dados de LVA do SINAN e do CVE. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 13(26), 211. 2017.
- McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 7, p. 1425–1432, 1996.
- MENESES, P.R.; ALMEIDA, T.; ROSA, A.N.C.S.; SANO, E.E.; SOUZA, E.B.; BAPTISTA, G.M.M; BRITES R.S. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, 276p., 2012.
- OLIVEIRA, S. K. D. Análise dos acidentes apílicos em Santa Catarina, 2007-2017. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Sul de Santa Catarina.2018.
- ONO, E. A; KUBITZA, F. Construção de viveiros e de estruturas hidráulicas para o cultivo de peixes. *Revista Panorama da Aquicultura*, 12, 73, p.15-29, 2002.
- OTTINGER, M.; CLAUSS, K.; KUENZER, C. Aquaculture: Relevance, Distribution, Impacts and Spatial Assessments: A Review. *Ocean & Coastal Management*, 119. p.244-266, 2016.
- PEIXE BR-Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2020 Peixe BR da Piscicultura. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020>. Acesso em: 01 fev. 2020.
- PÉREZ, O.M.; TELFER, T.C.; ROSS, L.G. Geographical information systems based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research*, 36, 10, p.946-961, 2005.
- PETIT, M.; STRETTA, J. M.; FARRUGIO, H.; WADSWORTH, A. Synthetic aperture radar imaging of sea surface life and fishing activities. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30. 1085 – 1089, 1992.
- PNLA- Portal do Licenciamento Ambiental. Classificação subárea Aquicultura. 2020. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/pesquisa-de-licenciamento-ambiental>. Acesso em: 24 jul. 2020.
- PRASAD, K.A.; OTTINGER, M.; WEI, C.; LEINENKUGEL, P. Assessment of Coastal Aquaculture for India from Sentinel-1 SAR Time Series. *Remote Sensing*. 11, 357, p.1-17, 2019.
- REZENDE, F. P. BERGAMIN, G. T. Implantação de piscicultura em viveiro escavados e tanques-rede. *Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos*. Brasília, DF: Embrapa, cap.4, p.109-139, 2013.
- RIZZATTI, M.; BATISTA, N.; CEZAR SPODE, P.; BOUVIER ERTHAL, D.; FARIA, R.; SCOTTI, A. & TRENTIN, R. & PETSCH, C. & TURBA, I. & QUOOS, J. Mapeamento da COVID-19 por meio da densidade de Kernel. *Metodologias e Aprendizado*. 3. p.44-53. 2020.
- ROKNI, K.; AHMAD, A.; SELAMAT, A.; HAZINI, S. Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*, 6,5, p.4173–4189, 2014.
- RURAL, Serviço Nacional de Aprendizagem. *Piscicultura: manejo da produção de peixes em viveiros*. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: SENAR, 2017. 120 p.; il. – (Coleção SENAR)

RURAL, Serviço Nacional de Aprendizagem. Piscicultura: criação de tilápias em viveiros escavados. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2018. 120 p.; il. – (Coleção SENAR).

SÃO PAULO. Decreto nº 62.243, de 01 de novembro de 2016. Diário Oficial do estado de São Paulo, São Paulo, 01 nov. 2016.

SCOTT, P.C.; VIANNA, L.F. SIG: Determinação de áreas potenciais para a carcinicultura em Sistema de Informação Geográfica. Panorama da Aquicultura, 11, 63, p.42-49, 2001

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). Como montar um negócio para criação de peixes. Série ideias de negócios. 2017. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-negocio-para-criacao-depeixes,81287a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 12 mai. 2022.

SEDEST - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo. Resolução nº 14, 05 de março de 2020. Estabelece normas e critérios para o licenciamento ambiental de Empreendimentos e Atividades de aquicultura e maricultura. Decreto Estadual-Paraná, 2020.

SICAR-Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. SICAR. 2019. Disponível em: www.car.gov.br/publico/imoveis. Acesso em: 09 mai. 2019.

SILVA, C.; FERREIRA, J.G.; BRICKER, S.B.; DELVALLS, T.A.; MARTÍN-DÍAZ, M.L.; YÁÑEZ, E. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farmscale models, with an emphasis on datapoor environments. Aquaculture, 318, 3-4, p.444-457, 2011.

SINAU- Sistema de Informação das Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para Fins de Aquicultura. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=11fvNmsYWauO1EVzdAdE6f1PS--79sdF&usp=sharing>. Acesso em: 24 ago. 2020.

SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data, International Journal of Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing, 10, 6, p.989-1003, 1989.

TAVARES-DIAS, M.; SILVA, C. A.; CORREA, R. O.; MARTINS JUNIOR, H.; YOSHIOKA, E. T. O.; ARAUJO, J. C.; RODRIGUES, L. A.; FOGACA, F. H. dos S. Boas práticas para a produção de tambaqui em tanques-rede: da implantação à despesca. Embrapa Amapá. Comunicado técnico Embrapa, 152. 30 p. 2018.

USGS- United States Geological Survey. Map Data. 2018. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 01 abr. 2019.

VIANN, L. F.; BONETTI J.; BONETTI, C. Sistemas de informações geográficas para seleção de sítios para aquicultura: uma revisão. Agropecuária Catarinense, Florianópolis. 29, 2, p.90-95, 2016

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27, 14, p.3025-3033, 2006.