



Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Territorial
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 144

Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto

*Flaviano Fernandes de São José
Yara Cristina de Carvalho Novo
André Rodrigo Farias
Lucíola Alves Magalhães
Marcelo Fernando Fonseca*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Territorial

Presidente
Luciôla Alves Magalhães

Secretária-executiva
Bibiana Teixeira de Almeida

Membros
Ângelo Mansur Mendes, José Dilcio Rocha, Lauro Rodrigues Nogueira, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, André Luiz dos Santos Furtado e Paulo Augusto Vianna Barroso

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
Suzi Carneiro

Ilustração da capa
Banco Multimídia Embrapa (fotos de: Yara Cristina de Carvalho Novo, Laura Resplandes de Sousa Paz, Jefferson Christofoletti)

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Territorial

Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto. / Flaviano Fernandes de São José, Yara Cristina de Carvalho Novo, André Rodrigo Farias, Luciôla Alves Magalhães, Marcelo Fernando Fonseca. - Campinas: Embrapa Territorial, 2022.

PDF (28 p.): il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 144).

1. Agropecuária. 2. Geoprocessamento. 3. Sentinel. I. São José, Flaviano Fernandes de. II. Novo, Yara Cristina de Carvalho. III. Farias, André Rodrigo. IV. Magalhães, Luciôla Alves. V. Fonseca, Marcelo Fernando. VI. Título. VII. Série.

CDD 621.3678

Autor

Flaviano Fernandes de São José

Geólogo / aluno de Geografia da Unicamp, bolsista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Yara Cristina de Carvalho Novo

Geóloga, Geógrafa, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

André Rodrigo Farias

Geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Lucíola Alves Magalhães

Geóloga, doutora em Ciências, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Marcelo Fernando Fonseca

Geógrafo, doutor em Geografia, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Apresentação

A Embrapa Territorial é uma Unidade temática da Embrapa que atua na viabilização de soluções de inteligência, gestão e monitoramento territorial para a agricultura brasileira. Em seus projetos e ações, a Unidade desenvolve e aplica métodos que propiciam aos gestores públicos e privados maior conhecimento da complexidade do mundo rural, seus desafios e oportunidades.

Nossas equipes multidisciplinares fazem amplo uso das geotecnologias para gerar, integrar e analisar informações de diversas fontes e naturezas, em bases territoriais e em diversas escalas temporais.

O desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas e procedimentos permitem detectar, identificar, qualificar, cartografar, prever e monitorar os diversos aspectos e fatores que influenciam a dinâmica de atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ambientais em nível local, regional e nacional.

Bons prognósticos e diagnósticos territoriais são fundamentais na busca pelo desenvolvimento agropecuário sustentável, de modo a equilibrar as questões produtivas, socioeconômicas e ambientais. Além da caracterização de aspectos técnicos e agronômicos, a análise detalhada da agropecuária de uma determinada região implica compreender como essas características interagem com cada situação natural, agrária, agrícola, de infraestrutura e socioeconômica possibilitando o monitoramento de sua evolução.

Esta publicação apresenta materiais, métodos e resultados obtidos nas atividades de mapeamento de viveiros escavados em âmbito nacional, realizado por equipe especialista. A identificação dessas estruturas da cadeia produtiva aquícola nacional no território pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais assertivas para o setor, subsidiando decisões nas esferas pública e privada. O trabalho também traz à tona a necessidade de novas pesquisas para a aplicação de técnicas automatizadas e recursos tecnológicos da área de sensoriamento remoto que permitam maior agilidade na manutenção, complementação e atualização da base de dados dos viveiros escavados, de suma importância para o planejamento territorial visando a competitividade e sustentabilidade da aquicultura brasileira.

Boa leitura!

Gustavo Spadotti Amaral Castro
Chefe-Geral da Embrapa Territorial

Sumário

Apresentação	7
Introdução.....	11
Aquicultura no mundo	11
Aquicultura no Brasil	13
PD&I na aquicultura brasileira.....	13
Mapeamento de viveiros escavados por sensoriamento remoto	14
Objetivo e justificativa do trabalho.....	14
Área de estudo	15
Imagens e Processos	15
Aquisição das imagens	15
Processamento das imagens	17
Validação dos dados	18
Resultados.....	23
Conclusão.....	25
Agradecimentos.....	26
Referências	26

Introdução

A atividade aquícola há séculos está presente na história da humanidade. Na tumba de Aktihep (2.500 a.C.), na antiga civilização egípcia, há figuras de homens removendo tilápias de um viveiro escavado (Basurco; Lovatelli, 2003). No Brasil, a aquíicultura é definida pela Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009, como o cultivo total ou parcial de organismos em meio aquático, geralmente em um espaço confinado ou controlado. A pesca pode ser definida como a captura dos recursos pesqueiros em ambiente natural. A vantagem da aquíicultura em relação à pesca é a geração de produtos mais homogêneos, rastreáveis e de disponibilidade regular (Embrapa Pesca e Aquíicultura, 2022a).

A pesca e a aquíicultura têm papel fundamental na produção e no fornecimento de alimentos para consumo humano e animal, e geram emprego e renda em diversas regiões do mundo. As formas econômicas de produção ocorrem como atividade autônoma ou em associação com outras atividades agropecuárias, como agricultura e criação de gado (Allison, 2011). Também há formas híbridas de produção, como arroz–camarão ou arroz–peixe (Renaud et al., 2015). Nesse contexto, o setor apresenta potencial econômico multiplicador em zonas rurais marginais (Allison, 2011).

As aplicabilidades dos produtos e serviços do sensoriamento remoto para a aquíicultura podem ser divididas em três segmentos: i) monitoramento da qualidade de água, ii) seleção de áreas para a atividade aquícola e iii) mapeamento e monitoramento das estruturas de produção aquícola (Boivin et al., 2004). Esta última é essencial para a formulação de regulações e incentivos governamentais apropriados, para o ordenamento territorial da atividade, além do fornecimento de dados estatísticos e geoespaciais que compõem estudos de inteligência de mercado.

Nas últimas décadas, trabalhos científicos sobre aquíicultura têm demonstrado o papel deste setor econômico como substituto à atividade de pesca, bem como os impactos ambientais, sociais e na produção global de alimentos resultantes desta mudança (Naylor et al., 2000). A tendência é um maior aporte tecnológico no manejo, visando à mitigação dos efeitos ambientais não desejáveis, ao aumento da qualidade dos produtos e a um crescimento do potencial de geração de emprego e renda (FAO, 2020; 2021).

Aquíicultura no mundo

O setor aquícola tem grande potencial para a produção de proteína animal e desempenha papel crucial na segurança global de alimentos (FAO, 2020). A produção global de peixes, crustáceos e moluscos foi de 177,8 milhões de toneladas em 2019, com decréscimo de apenas 1% em relação a 2018. Desse total, a produção por pesca (captura) contabilizou 92,5 milhões, decréscimo de 4,3% em relação ao ano anterior. A produção aquícola contabilizou 85,3 milhões de toneladas em 2019, acréscimo de 3,7% em relação a 2018. Para o ano de 2019, o valor total global da produção foi estimado em US\$ 406 bilhões, dos quais US\$ 260 bilhões são de produção aquícola (FAO, 2021).

Em 2019, os dez maiores produtores de aquíicultura (excluídas plantas aquáticas e produtos não alimentares) foram China (48,2 milhões de toneladas), Índia (7,8 milhões de toneladas), Indonésia (6,0 milhões de toneladas), Vietnã (4,4 milhões toneladas), Bangladesh (2,5 milhões de toneladas), Egito (1,6 milhão de toneladas), Noruega (1,5 milhão de toneladas), Chile (1,4 milhão de toneladas), Mianmar (1,1 milhão de toneladas) e Tailândia (1 milhão de toneladas). Os dez maiores produtores produziram coletivamente 75,4 milhões de toneladas, 88,4% do total da aquíicultura mundial. O Brasil aparece na 13ª posição, com produção total de 599.550 t (FAO, 2021).

A aquicultura de espécies de peixes redondos em águas interiores foi o setor mais importante na aquicultura mundial de animais aquáticos. A produção de 48,4 milhões de toneladas representou 56,7% da produção total da aquicultura mundial em 2019. A contribuição da aquicultura para a produção total de animais aquáticos (captura e aquicultura combinados) aumentou continuamente de 39,9% em 2010 para 48,0% em 2019 (FAO, 2021).

Ao longo das últimas duas décadas, verifica-se aumento significativo da importância da aquicultura em relação à pesca em termos mundiais. Observa-se crescimento contínuo da participação da aquicultura, em especial em águas interiores (Figura 1). Para o ano de 2018, a aquicultura contabilizou 46% do total da produção e 52% do consumo do peixe para alimentação humana (FAO, 2020). Para o mesmo ano, pelo menos 39 países tiveram a produção da aquicultura superior à da pesca (Bonfá Neto, 2021).

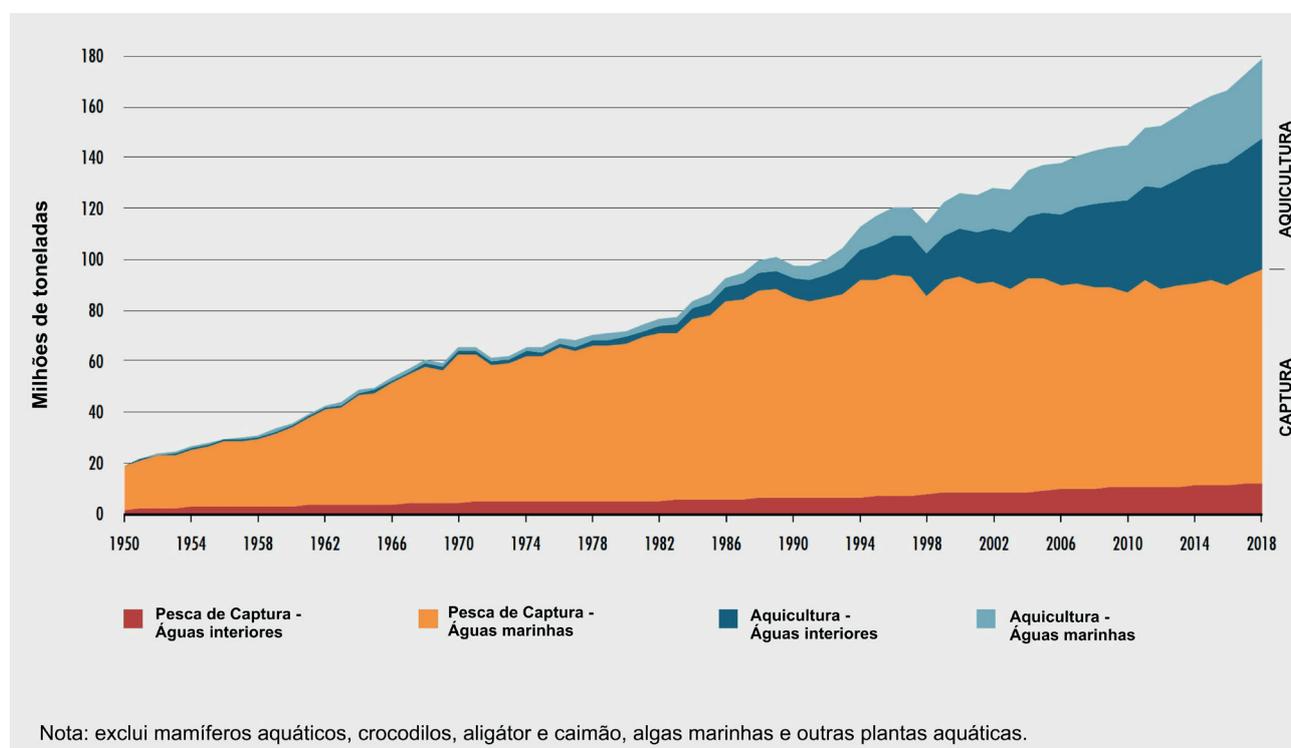


Figura 1. Pesca de captura e produção aquícola mundial.

Fonte: FAO (2020).

O consumo global de alimentos de peixes aumentou a uma taxa média anual de 3,1% de 1961 a 2017, quase o dobro da taxa anual de crescimento populacional mundial (1,6%) para o mesmo período e superior a todas as outras proteínas animais (carne, laticínios, leite, etc.), que aumentaram, na média, 2,1% ao ano (FAO, 2021). A demanda por produtos à base de pescado deve aumentar nas próximas décadas, seja por razões socioeconômicas, de saúde ou religiosas (Rocha et al., 2013).

A aquicultura concentra-se tradicionalmente em zonas costeiras (Ottinger et al., 2018). Com os avanços observados no setor, a busca por novas áreas favoráveis a empreendimentos aquícolas, em termos globais, tem avançado em direção ao continente (FAO, 2020). A produção aquícola em águas interiores é desenvolvida principalmente em cultivos de água doce, e as instalações de viveiros escavados no terreno são a forma mais comum de manejo dentre diversas opções, como gaiolas, fluxo contínuo (*raceways*), tanques suspensos, etc. (FAO, 2020).

Aquicultura no Brasil

Com a maior reserva de água doce do mundo (aproximadamente 5.500.000 ha de lâmina d'água representados pelos reservatórios) e uma extensa costa oceânica de aproximadamente 8.400 km (Brasil, 2012), o Brasil apresenta enorme potencial para o desenvolvimento da aquicultura. Dentre os pontos fortes para o crescimento brasileiro no setor aquícola estão as condições geográficas e climáticas favoráveis para a atividade, a abundância de recursos hídricos e a localização estratégica para escoamento da produção para toda a América e Europa, além de elevada produção de grãos, insumo para a fabricação de ração (Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022b).

A atividade de piscicultura em águas da União vem expandindo-se no País, registrando aumento de 16% na produção declarada, passando de 61.371 t em 2019, para 71.512 t em 2020 (Brasil, 2021). A produção é feita principalmente em reservatórios de hidrelétricas nas bacias Tocantins–Araguaia, Paraná e São Francisco, bem como em rios federais e no mar territorial brasileiro. Cabe destacar que há enorme potencial produtivo a ser explorado, uma vez que a produção total declarada para todas as bacias representa apenas 14,6% da capacidade total para a piscicultura em corpos d'água da União (Brasil, 2021).

Segundo o Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura de 2011, o Brasil registrou incremento de 51,2% na produção durante o triênio 2009–2011, e a maior parcela da produção aquícola é oriunda da aquicultura continental, na qual se destaca a piscicultura continental, que representa 86,6% da produção total nacional (Brasil, 2011). O crescimento da produção desta modalidade pode ser atrelado ao desenvolvimento do setor, que, por sua vez, decorreu da ampliação de políticas públicas que facilitaram o acesso aos programas governamentais existentes, tais como o Plano Mais Pesca e Aquicultura (Brasil, 2011). Segundo dados mais recentes disponibilizados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em termos globais, para o ano de 2018, o país ocupava a 13ª posição na produção de peixes em cativeiro e a 8ª posição na produção de peixes de água doce (FAO, 2020).

O Brasil não publica dados do setor em termos dos diferentes segmentos produtivos desde 2011, porém o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do seu relatório anual de Produção Pecuária Municipal (PPM), tem informado dados referentes à aquicultura desde 2013 (Bonfá Neto, 2021). Para o ano de 2020, os dados do PPM apontam 551,9 mil toneladas, um crescimento da piscicultura de 4,3% em relação ao ano de 2019. Os três primeiros maiores produtores são os estados Paraná, com 25,4% do total nacional, São Paulo (10,0%) e Rondônia (8,7%). Dentre as espécies produzidas, destacam-se a tilápia, com 62,3% do total de peixes produzidos (343,6 mil toneladas), seguida do tambaqui (100,6 mil toneladas), este último produzido principalmente na região Norte. A produção de camarão de cativeiro cresceu 14,1% em relação ao ano anterior, totalizando 63,2 mil toneladas, e a região Nordeste é responsável por 99,6% da produção do Brasil (IBGE, 2021).

PD&I na aquicultura brasileira

Os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação são fundamentais para elevar o patamar tecnológico e favorecer a competitividade e a sustentabilidade da aquicultura brasileira (Rocha et al., 2013). O conhecimento do status e das tendências do setor é chave para a formulação de políticas públicas sólidas, bem como para a avaliação de desempenho de responsabilidade dos sistemas de gerenciamento da cadeia da aquicultura (FAO, 2021). O Brasil, no entanto, no campo da pesquisa e da inovação, carece de foco na definição das demandas de pesquisa para o setor (Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022b).

Para suprir essa necessidade, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) lidera o projeto BRS Aqua em parceria com o Fundo Tecnológico do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Funtec/BNDES), juntamente com a Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SAP/Mapa) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). BRS Aqua é o maior projeto de pesquisa em aquicultura já desenvolvido no País (Embrapa Pesca e Aquicultura, 2022a). Ao custo total de R\$ 57 milhões e com 4 anos de duração, tem como meta estabelecer a infraestrutura e a pesquisa científica necessárias para atender demandas do mercado da aquicultura brasileira. Uma das temáticas que compõem o BRS Aqua é o projeto componente “Ações estruturantes e inovação das cadeias produtivas da Aquicultura no Brasil”, que tem como uma de suas atividades o mapeamento de viveiros escavados, objeto de estudo desta publicação, que apresenta os resultados alcançados pelas ações de pesquisa do projeto, iniciadas em 2019.

Mapeamento de viveiros escavados por sensoriamento remoto

A identificação de viveiros escavados para uso aquícola via sensoriamento remoto continua a ser um desafio importante devido às suas complexas características espectrais e espaciais (Duan et al., 2020; Xia et al., 2020; Novo et al., 2022). Trabalhos que abordam a potencialidade de diferentes sensores orbitais para mapear essas estruturas de produção aquícola têm demonstrado resultados satisfatórios. Os sensores empregados são os mais diversos, como imagens Lidar (Loberternos et al., 2016), imagens de sensores ópticos como Landsat, Spot, Sentinel-2, QuickBird, Ikonos (Fuchs et al., 1998; Ren et al., 2019; Dwivedi; Sreenivas, 2005; Duan et al., 2020; Xia et al., 2020; Novo et al., 2022) e de radar, como Alos Palsar, Radarsat, Sentinel-1 (Travaglia et al., 2004; Alexandridis et al., 2008; Marini et al., 2013; Ottinger et al., 2017). As técnicas de geoprocessamento para a extração automática de viveiros escavados também são diversas, como redes neurais (Zeng et al., 2021) e análise de imagens orientada a objeto (Zhang et al., 2010; Virdis, 2014). Grande parte dos trabalhos concentram-se no mapeamento de estruturas aquícolas em zonas costeiras, mas algumas análises também enfocam a zona continental, nas águas interiores (Zeng et al., 2021). Nos trabalhos mais recentes, é comum o uso de plataformas geoespaciais baseadas em nuvem para fazer o geoprocessamento das imagens, como é o caso do Google Earth Engine (Duan et al., 2020; Xia et al., 2020; Yu et al., 2020).

Um dos desafios do mapeamento de viveiros aquícolas em zona continental nas águas interiores é a dificuldade de diferenciá-los de corpos d'água naturais ou que estão sendo utilizados para outras finalidades, como cultivo de arroz ou dessedentação animal. No Brasil, devido às diferentes características de manejo das várias espécies, os tamanhos e as formas dos viveiros aquícolas são diversos, o que se traduz em um grande desafio para o desenvolvimento de uma metodologia automática de extração a partir de imagens orbitais, especialmente em águas interiores, que possa ser aplicada em todo o território nacional.

Objetivo e justificativa do trabalho

Embora estimativas nacionais e estatísticas internacionais em aquicultura sejam encontradas na literatura, há ainda uma grande lacuna no conhecimento da localização da produção regional, bem como em dados de produtividade e eficiência do setor, tanto em termos internacionais (Ottinger et al., 2018) como nacionais. O monitoramento da atividade aquícola através do mapeamento dos viveiros escavados é essencial para: (i) planejamento/ordenamento territorial, (ii) gerenciamento da atividade econômica e (iii) para avaliação dos recursos naturais e seus

impactos ambientais. O monitoramento das pressões humanas no ambiente é o primeiro passo para a gestão dos ecossistemas naturais, bem como um método para avaliar a eficácia das medidas de conservação aplicadas (Alexandridis et al., 2008).

Diante dessa demanda, o objetivo deste trabalho foi a produção de um dado inédito no País referente ao mapeamento de viveiros escavados para os municípios brasileiros que, juntos, concentram pelo menos 75% de toda a produção aquícola de cada unidade federativa (UF). O mapeamento foi feito por meio da integração de técnicas de processamento digital de imagens orbitais e da interpretação visual das estruturas da produção aquícola por equipe de especialistas.

Trabalhos desse tipo são relevantes, porque não há registros no Brasil, até o presente momento, de iniciativa sistemática de mapeamento de viveiros escavados na abrangência do território nacional. O produto gerado pelo mapeamento, além das funções supracitadas, pode servir também como referência inicial e uma forma de balizamento para experimentações futuras de extração automática de feições características da produção aquícola, garantindo uniformidade no reconhecimento dos viveiros e criando possibilidades para seu monitoramento contínuo.

Área de estudo

Considerando as dimensões continentais do Brasil e o método proposto para o mapeamento de viveiros escavados, a área objeto de estudo para reconhecimento das estruturas de produção aquícola foi definida a partir de um indicador de concentração espacial da produção baseado na distribuição estatística em quartéis, segundo a proposição metodológica de Garagorry e Chaib Filho (2008). A partir dessa referência, foram selecionados os municípios de cada UF do Brasil cujas produções somadas concentravam, pelo menos, 75% da produção aquícola total do estado. Esse grupo foi denominado G75 e o seu tamanho, em termos de número de municípios, variou conforme a concentração espacial da atividade. Assim, no estado do Rio Grande do Sul, o G75 é composto por 154 municípios, enquanto no estado do Espírito Santo, o G75 é composto por apenas 4 municípios.

Os dados de produção aquícola municipal foram obtidos da base do Sistema de Recuperação Automática do IBGE (Sidra) referente à tabela 3940 para dados de 2016 da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Após a seleção do G75 de cada UF, foram identificados, na Malha Municipal do IBGE de 2018, 513 municípios brasileiros a serem mapeados, totalizando uma área de mapeamento de 92.932.575 ha (aproximadamente 930.000 km²). A Figura 2 demonstra a distribuição dos municípios mapeados em cada UF, que integralizam a área de estudo do trabalho:

Imagens e Processos

Aquisição das imagens

As imagens utilizadas para a vetorização dos viveiros escavados foram as disponibilizadas pelo sensor multiespectral MSI do satélite Sentinel-2, pertencente à constelação Copernicus, projeto desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA) em parceria com a União Europeia.

O satélite Sentinel-2 foi escolhido por sua média resolução espacial (10 m), que o torna capaz de identificar adequadamente viveiros escavados de menor porte. O sensor tem 13 bandas espectrais, e as faixas do verde (560 nm — banda 3) e do infravermelho próximo (842 nm — banda 8) são

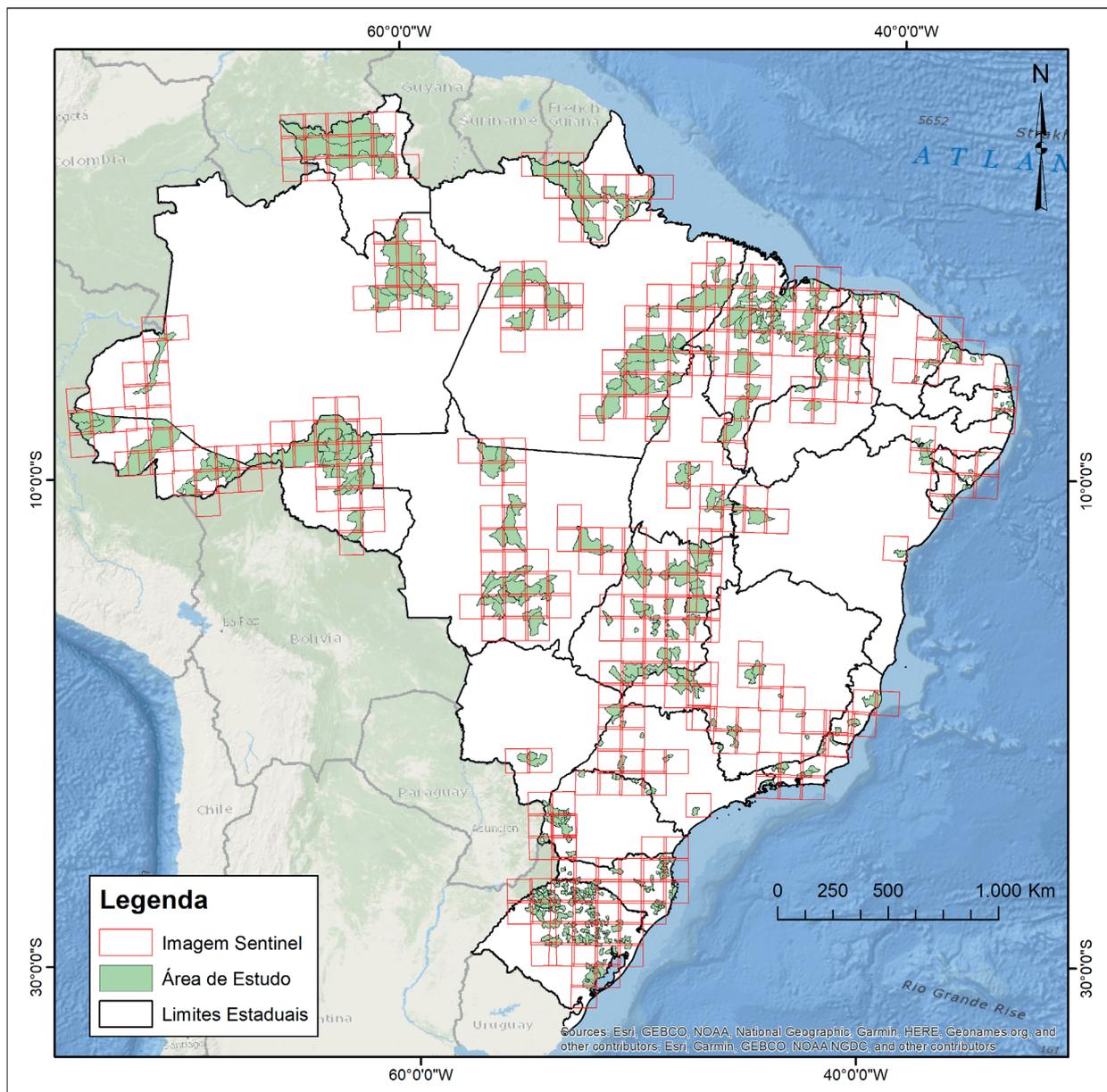


Figura 2. Mapa da distribuição dos municípios mapeados (G75) que compõem a área de estudo e a localização das imagens Sentinel-2A e 2B obtidas na plataforma Earth Explorer.

capazes de identificar satisfatoriamente corpos d'água na superfície do terreno através do cálculo do índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Du et al., 2016). Além disso, sua resolução temporal é alta, com tempo de revisita a uma mesma região do globo em cinco dias e, diferentemente de outras soluções proprietárias, as imagens são de acesso livre.

Para cobrir todos os municípios a serem mapeados, foram baixadas 70 imagens Sentinel-2A e 2B (Figura 2) da plataforma Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey, USGS) no nível 1C e cenas de tamanho 100 km por 100 km. O ano de 2018 foi definido como referência temporal para o mapeamento, e a seleção das cenas orientou-se no sentido de garantir a menor cobertura de nuvens possível na área de mapeamento dentro do ano.

Processamento das imagens

Para cada UF foram compostos mosaicos RGB (bandas 04/03/02) de cor verdadeira e RGB (bandas 08/04/03) de falsa cor a partir do uso do software livre SNAP 7.0, distribuído pela ESA para o geoprocessamento de imagens Sentinel. Em seguida, utilizando o software ArcGIS 10.7.2 (ESRI, 2018), foi calculado o índice NDWI utilizando as bandas 3 e 8 para o destaque de corpos d'água na superfície do terreno.

O índice NDWI tem como objetivo maximizar a refletância da água na banda do verde e minimizar a refletância da banda do infravermelho próximo (NIR), através da Equação 1:

$$NDWI = \frac{(B3 - B8)}{(B3 + B8)} \quad (1)$$

B3 é a refletância *Top Of Atmosphere* (TOA) da banda do verde e B8 é a refletância TOA da banda do infravermelho próximo em imagens Sentinel-2A e 2B.

Com o índice NDWI obtido, os valores de cada pixel foram reclassificados e foram selecionados apenas aqueles com valores maiores que zero, indicativo de presença de água no alvo. A partir deste conjunto, foi feita a vetorização automática para a geração dos polígonos (ferramenta *Raster to Polygon* no software ArcGIS 10.7.2).

Com a finalidade de sistematizar a varredura visual nas imagens, para selecionar os corpos d'água relacionados à atividade aquícola, bem como fazer ajustes manuais nos contornos dos polígonos vetorizados a partir do índice NDWI, a área de estudo foi segmentada em quadrículas de 3 km x 3 km a partir da ferramenta *Create Fishnet* do software ArcGIS 10.7.2.

Para fazer a varredura sistemática no terreno, foi utilizado o software ArcGIS 10.7.2, que disponibiliza internamente imagens de alta resolução espacial de diversos satélites (WorldView, Ikonos, etc.). Essas imagens tiveram como objetivo auxiliar a equipe de interpretação na seleção apenas dos corpos d'água destinados à produção aquícola, por meio do reconhecimento de feições típicas. Essas feições observadas nas imagens de alta resolução foram:

- Presença de barracões, geralmente utilizados para armazenar rações e equipamentos de manejo aquícola;
- Vias de acesso, geralmente não asfaltadas;
- Presença de aeradores nos corpos d'água, que geram na região de instalação turbulência passível de reconhecimento nas imagens de alta resolução;
- Geometria dos corpos d'água, cujas feições retangulares são típicas. Em alguns casos, no entanto, podem ser observadas feições triangulares, ovaladas ou, ainda, disformes. Geralmente apresentam-se em forma de baterias (sequência de mais de um corpo d'água retangular, todos próximos um ao outro e divididos por um dique de contenção).

Uma vez identificado que o corpo d'água discriminado pelo índice espectral era uma unidade de produção aquícola segundo os critérios de mapeamento estabelecidos, polígonos foram desenhados manualmente ao redor do conjunto de viveiros individuais. Ao conjunto de viveiros destacados por cada polígono do mapeamento denominou-se "bateria de viveiros escavados". A Figura 3 detalha o processo de mapeamento por técnicas de interpretação visual utilizadas nesse trabalho.

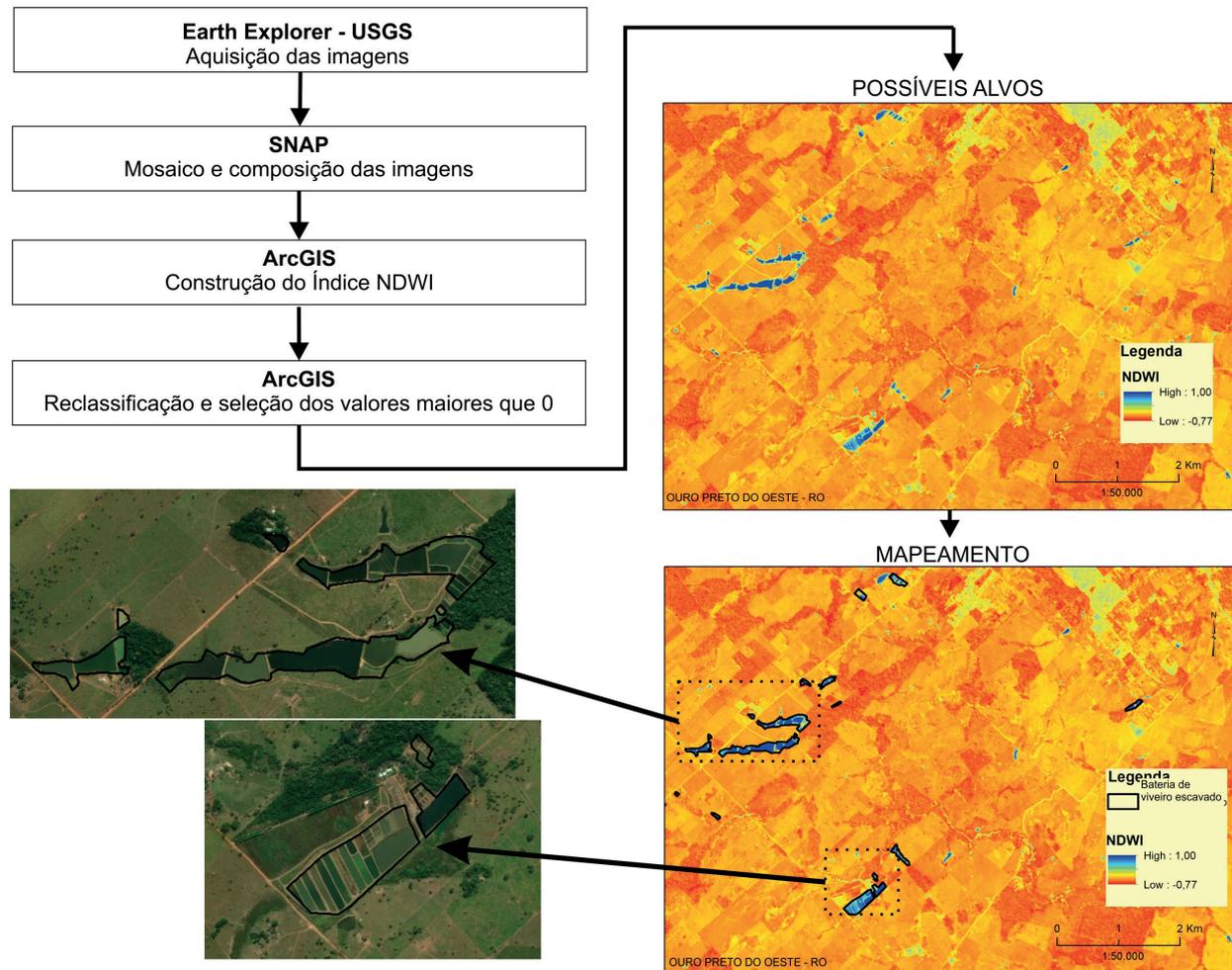


Figura 3. Metodologia utilizada para o mapeamento de viveiros escavados através de interpretação visual.

Validação dos dados

Uma etapa importante do mapeamento digital de alvos é a validação dos resultados obtidos. Devido à impossibilidade de fazer viagens a campo para checar uma amostra para cada UF, a equipe optou por trabalhar com uma validação em escritório a partir do cruzamento com outros bancos de dados espaciais. O intuito dessa validação é o de inserir nos atributos dos polígonos dos viveiros escavados mapeados a informação de que ele foi ou não validado a partir de informações secundárias externas à fase de mapeamento.

Para tal finalidade, foram utilizados polígonos representativos dos imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) como elemento auxiliar no processo de validação. O CAR é um registro público eletrônico nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, que tem a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais (Brasil, 2022).

Além disso, foram utilizados dados secundários de referência sobre a atividade aquícola, aqui denominados de pontos de validação (PV). Os PV são dados pontuais – pontos com coordenadas geográficas no terreno – indicativos da presença de atividade aquícola registrada na respectiva localidade. Esses dados provêm de diversas instituições governamentais ou associações de produtores aquícolas, como o Portal Nacional de Licenciamento Ambiental, secretarias estaduais de meio ambiente, instituições de assistência técnica, entre outras.

A Tabela 1 apresenta a lista das instituições que forneceram dados da atividade aquícola de cada UF para validação do mapeamento bem como o quantitativo de PVs recebido e efetivamente utilizado. Cabe ressaltar que, para algumas UFs, foram obtidos PVs oriundos de mais de uma instituição, cujos dados foram utilizados no processo de validação. Dessa forma, os viveiros validados de cada UF correspondem à junção de todas as validações obtidas pelos dados de cada instituição. Para alguns estados, não foram obtidos dados para subsidiar o processo de validação em escritório e, portanto, nenhum viveiro foi validado para esses casos.

Os dados de PVs das instituições foram obtidos através do envio de ofícios e contato institucional. Os dados recebidos foram checados e as coordenadas geográficas de cada ponto de atividade aquícola foram espacializadas em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG).

Tabela 1. Instituições que forneceram dados para validação dos viveiros escavados mapeados, número total de PVs recebidos de cada instituição e número total e percentual de PVs utilizados no processo de validação.

Sigla	Estado	Instituição validadora	Nº de PVs recebidos	Nº PVs utilizados	%
AC	Acre	Licenciamento Ambiental PNLA	4.363	413	9,5
		Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura – Agricultura AL	24	24	100
AL	Alagoas	Instituto de Meio Ambiente de Alagoas (IMA)	11	11	100
		Licenciamento Ambiental PNLA	25	15	60,0
AP	Amapá	Licenciamento Ambiental PNLA	2	0	0,0
AM	Amazonas	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (Ipaam)	1.400	1.047	74,8
		Licenciamento Ambiental PNLA	1.805	762	42,2
BA	Bahia	Não recebidos dados de validação	-	-	-
CE	Ceará	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater CE)	202	172	85,1
DF	Distrito Federal	Licenciamento Ambiental PNLA	12	9	75,0
ES	Espírito Santo	Não recebidos dados de validação	-	-	-
GO	Goiás	Licenciamento Ambiental PNLA	117	22	18,8
MA	Maranhão	Secretaria de Agricultura, Pecuária e Pesca (Sagrma)	172	162	94,2
		Licenciamento Ambiental PNLA	224	92	41,1
MT	Mato Grosso	Não recebidos dados de validação	-	-	-
MS	Mato Grosso do Sul	Não recebidos dados de validação	-	-	-
		Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig)	51	50	98,0
		Outorga ANA MG	27	26	96,3
MG	Minas Gerais	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad)	26	25	96,2
		Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater MG)	24	0	0,0
PA	Pará	Licenciamento Ambiental PNLA	361	0	0,0
PB	Paraíba	Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Sudema)	75	19	25,3
PR	Paraná	Instituto Água e Terra	5.474	5.390	98,5
		Licenciamento Ambiental PNLA	322	217	67,4
PE	Pernambuco	Agência Estadual de Meio Ambiente CPRH	110	67	60,9

continua...

Tabela 1. Continuação.

Sigla	Estado	Instituição validadora	Nº de PVs recebidos	Nº PVs utilizados	%
PI	Piauí	Não recebidos dados de validação	-	-	-
RJ	Rio de Janeiro	Licenciamento Ambiental PNLA	56	11	19,6
RN	Rio Grande do Norte	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (Idema)	188	171	91,0
RS	Rio Grande do Sul	Não recebido dados de validação	-	-	-
		Semagric (Porto Velho)	33	33	100
RO	Rondônia	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental (Sedam)	4.272	3.082	72,1
		Licenciamento Ambiental PNLA	421	253	60,1
RR	Roraima	Licenciamento Ambiental PNLA	8	3	37,5
SC	Santa Catarina	Instituto do Meio Ambiente (IMA)	615	182	29,6
SP	São Paulo	Não recebidos dados de validação	-	-	-
SE	Sergipe	Licenciamento Ambiental PNLA	64	36	56,3
		Instituto de Desenvolvimento Rural do Tocantins (Ruraltins)	1.099	133	12,1
TO	Tocantins	Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins)	1.891	150	7,9
		Licenciamento Ambiental PNLA	733	38	5,2
TOTAL			24.207	12.615	52,1

Nesse processo de certificação de qualidade, foram excluídos da amostra pontos que identificavam localidades em centros urbanos, pontos com coordenadas geográficas duplicadas e pontos localizados em municípios que não compõem a área de estudo (G75).

A validação foi feita para cada UF seguindo a metodologia destacada na Figura 4. Primeiramente, foi feita uma intersecção entre os polígonos do CAR (Figura 4a) e os PV fornecidos por cada instituição (Figura 4b). Foram obtidos dois produtos:

- i) Os polígonos dos imóveis rurais registrados no CAR que apresentam pelo menos um PV em seu interior, aqui denominado de CAR Validador (Figura 4c);
- ii) O conjunto de PVs cuja localização geográfica não coincide com os limites dos imóveis rurais registrados no CAR (Figura 4d).

A partir desses dois produtos, foi feita uma nova intersecção, desta vez utilizando os polígonos do CAR Validador (Figura 4c) com as baterias de viveiros originalmente mapeadas (Figura 4f). Foram obtidos três novos resultados:

- i) Conjunto de viveiros escavados validados por CAR Validador (Figura 4–1), correspondem às baterias de viveiros que estavam localizadas no interior dos polígonos do CAR Validador, ou seja, dentro dos limites de um imóvel rural que também apresentava um ou mais pontos de validação associados;
- ii) Conjunto de PVs dentro do CAR Validador com baterias de viveiros identificados dentro do polígono do imóvel rural (Figura 4e);
- iii) Conjunto de PVs dentro do CAR Validador, mas sem baterias de viveiros identificada dentro do polígono do imóvel rural (Figura 4g).

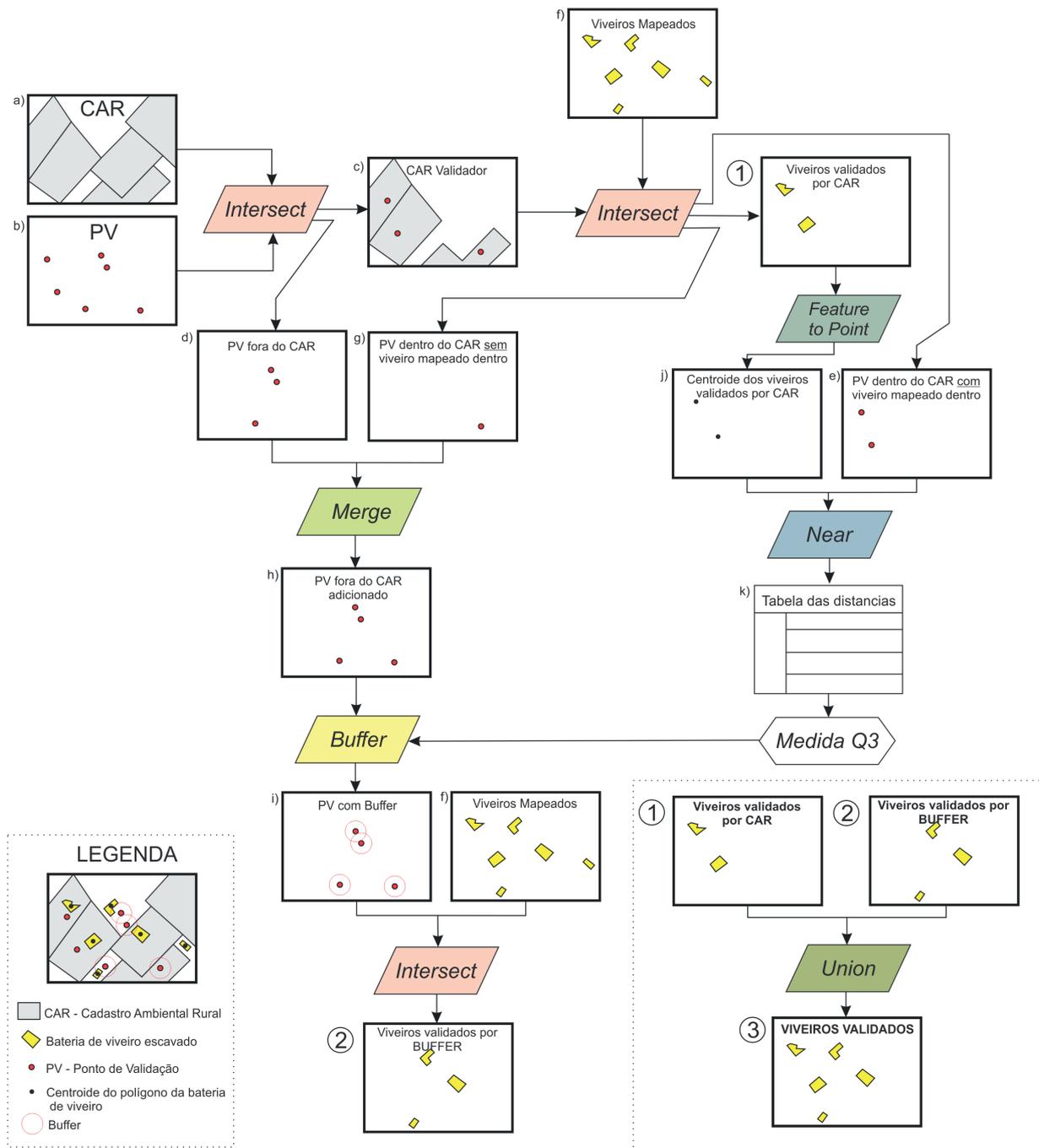


Figura 4. Fluxograma da metodologia de validação das baterias de viveiros escavados mapeadas.

O processo de validação seguiu com a união dos PVs não localizados dentro dos limites dos imóveis rurais do CAR (Figura 4d) a outro conjunto de PVs que, embora inseridos nos perímetros dos imóveis, não apresentavam baterias de viveiros mapeadas dentro do polígono (Figura 4g). O produto dessa união, denominado “PV fora CAR adicionado”, representa a seleção dos PVs que não foram utilizados na abordagem com os imóveis rurais do CAR, para que possam ser submetidos a outra técnica de validação, a qual se baseia na criação de um *buffer* (raio de alcance) para esses PVs. Esta técnica parte da premissa de que as baterias de viveiros escavados cujas localizações estão dentro de um raio de alcance determinado estariam associadas a esses PVs e, portanto, validadas. A decisão por esse tipo de validação justifica-se na medida em que os PVs não estão necessariamente próximos às lâminas d’água e suas coordenadas podem ser registradas em locais próximos à propriedade.

O raio de alcance foi obtido através da análise estatística das distâncias dos centroides dos polígonos das baterias de viveiros mapeadas dentro dos imóveis rurais do CAR (Figura 4j) até seus respectivos PVs (Figura 4e). Esse conjunto de distâncias foi obtido por meio da ferramenta *Near* do software ArcGIS 10.7.2, na qual foi definido que o valor do raio de alcance corresponderia ao terceiro quartil $Q3 = \text{mediana} + 25\%$ das distâncias medidas (Figura 4k). Com esse valor de raio alcance definido para cada UF, foi aplicado o *buffer* aos “PV fora CAR Adicionado” (Figura 4i) e, posteriormente, à intersecção desse raio de alcance em relação às baterias de viveiros mapeadas. Caso a bateria de viveiros mapeada estivesse localizada no interior do raio de alcance do PV, o mapeamento dessa feição era considerado validado.

Para finalizar o processo de validação, foi feita a junção final das baterias de viveiros validadas pelo CAR Validador (Figura 4–1) às baterias de viveiros validadas por *buffer* (Figura 4–2), usando a ferramenta *Union*, para finalmente obter as baterias de viveiros escavados validadas (Figura 4–3).

O resultado do mapeamento foi apresentado no formato vetorial *shapefile*, na escala 1:100.000. Cada linha da tabela de atributos do dado identifica uma bateria de viveiros com sua respectiva localização municipal, estadual e regional. Inclui também informações calculadas de área e identifica se a bateria de viveiros está localizada no interior de um imóvel rural (CAR). Por último, apresenta um atributo específico da validação que identifica, para cada bateria de viveiro, se foi ou não validada por alguma instituição validadora da respectiva UF na qual está localizada. Alguns exemplos de baterias de viveiros mapeadas em determinadas UFs são mostrados na Figura 5.



Figura 5. Baterias de viveiros escavados mapeadas nos municípios que compõem o G75 da produção aquícola em cada estado brasileiro, com destaque para localidades selecionadas.

Resultados

Na Tabela 2, são apresentados o número total de municípios que compõem o G75 em cada UF, bem como a área e o total de polígonos mapeados e validados e respectivos valores percentuais. Os polígonos mapeados representam baterias de viveiros escavados para uso aquícola. A primeira coluna informa o número de municípios que compõem o G75, seguido do número de polígonos mapeados e validados e seus respectivos percentuais. A mesma informação é fornecida para a área total dos polígonos. Os valores do número de baterias de viveiros validadas refletem a união de todas as instituições utilizadas no processo de validação para cada UF. O traço representa as UFs para as quais não foram recebidos dados secundários da aquicultura para o processo de validação.

Os estados Amapá e Pará aparecem com valor zero, pois não foi possível validar nenhum viveiro mapeado com os dados fornecidos pelas instituições. O estado de Rondônia apresenta a maior área de baterias de viveiros mapeadas, seguido por Ceará e Maranhão. O Rio Grande do Sul apresenta o maior número de polígonos mapeados, seguido por Maranhão e Rondônia.

Em relação aos valores obtidos com a validação das baterias de viveiros mapeadas, o estado do Amazonas apresenta o maior índice de polígonos validados, seguido por Pernambuco e Tocantins. Os demais estados apresentam valores de validação abaixo de 50%. O total do mapeamento contabiliza 48.471 baterias de viveiros mapeadas, das quais 9.323 foram validadas, o que corresponde a uma validação média por estado da ordem de 19,2%. Resultado semelhante pode ser encontrado quando o critério de análise é a área total mapeada, que somou mais de 78 mil hectares, e 25,5% desse total foi validado. Cabe destacar, como é possível observar na Tabela 1, que um dos fatores que condicionam o processo de validação é a baixa disponibilidade de PVs em determinados estados, o que inviabiliza a análise georreferenciada dos dados secundários em relação ao mapeamento dos viveiros e reforça a necessidade de parcerias institucionais e campanhas de campo para validação do mapeamento nacional.

A Tabela 2 apresenta, ademais, o total de produção aquícola registrado segundo a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE para o ano de 2018, ano-base das imagens utilizadas no trabalho. Os valores estão representados em toneladas e correspondem ao somatório da produção aquícola segundo a tabela 3940 do Sidra, com exceção de alevinos, sementes de moluscos, larvas de camarão e da categoria "outros produtos", visto que são apresentadas em outra unidade de medida (milheiros). As demais categorias utilizadas para o cálculo do total da produção aquícola estão disponibilizadas em quilogramas no Sidra e correspondem às seguintes espécies: carpa, curimatã, curimbatá, dourado, jatuarana, piabanha e piracanjuba, lambari, matrinxã, pacu, patinga, piau, piapara, piauçu, piava, pintado, cachara, cachapira e pintachara, surubim, pirapitinga, pirarucu, tambacu, tambatinga, tambaqui, tilápia, traíra, trairão, truta, tucunaré, camarão, ostras, vieiras e mexilhões.

A partir dos dados da PPM do ano de 2018, foi estimada a produtividade dividindo-se o total da produção aquícola registrado pelo IBGE pela área total mapeada de baterias de viveiros escavados. Dessa forma foi obtida a quantidade média de toneladas por hectare de lâmina d'água nos municípios avaliados em cada UF. Observa-se que os maiores valores são de São Paulo (139,8 t/ha) e Minas Gerais (127,2 t/ha), enquanto os menores valores são do Acre (0,9 t/ha) e de Sergipe (1,3 t/ha). É fundamental ressaltar que esses números também refletem outras particularidades. O estado de São Paulo, apesar de ser um dos maiores estados produtores, apresenta uma das menores áreas ocupadas por viveiros escavados, uma vez que grande parte da produção paulista é oriunda de outros sistemas de produção estruturados em águas da União, sobretudo tanques-rede.

Tabela 2. Resultado do mapeamento de baterias de viveiros escavados para cada UF.

Sigla (UF)	Estado	Municípios (G75)	Bateria de viveiros escavados mapeados (Nº de polígonos)	Bateria de viveiros escavados validados (Nº de polígonos)	%	Bateria de viveiros escavados mapeados Área (ha)	Bateria de viveiros escavados validados Área (ha)	%	PPM 2018 (toneladas)	Produtividade (toneladas por hectare)
RO	Rondônia	18	5.686	2.427	42,7	12.530,9	7.225,9	57,7	50.180,7	4,0
CE	Ceará	8	1.108	46	4,2	8.449,3	700,4	8,3	24.196,7	2,9
MA	Maranhão	51	6.041	477	7,9	8.195,8	731,1	8,9	27.699,3	3,4
RS	Rio Grande do Sul	154	9.010	-	-	8.012,6	-	-	14.312,3	1,8
MT	Mato Grosso	17	1.505	194	12,9	5.532,9	1.244,9	22,5	33.974,7	6,1
PR	Paraná	28	4.937	1.996	40,4	5.228,1	2.927,1	56,0	121.475,1	23,2
AC	Acre	10	4.418	1.628	36,8	4.086,9	1.851,6	45,3	3.825,8	0,9
RN	Rio Grande do Norte	8	990	389	39,3	3.618,8	1.250,2	34,5	22.164,6	6,1
SE	Sergipe	8	500	12	2,4	3.431,6	350,1	10,2	4.372,3	1,3
RR	Roraima	5	1.235	11	0,9	3.429,6	39,3	1,1	10.818,0	3,2
PI	Piauí	24	731	-	-	2.807,0	-	-	13.126,6	4,7
SC	Santa Catarina	40	3.211	144	4,5	2.671,7	245,7	9,2	44.299,6	16,6
AM	Amazonas	7	1.520	1.280	84,2	1.809,5	1.491,7	82,4	8.162,5	4,5
MS	Mato Grosso do Sul	4	652	-	-	1.722,1	-	-	13.993,3	8,1
PA	Pará	17	2.616	0	0,0	1.190,7	0,0	0,0	13.601,2	11,4
BA	Bahia	4	328	-	-	1.179,4	-	-	15.351,0	13,0
TO	Tocantins	5	679	367	54,1	1.145,7	776,2	67,8	11.360,5	9,9
GO	Goiás	33	1.120	37	3,3	841,6	47,4	5,6	15.540,1	18,5
PE	Pernambuco	4	55	38	69,1	834,1	773,1	92,7	22.838,1	27,4
PB	Paraíba	10	415	89	21,4	658,1	225,2	34,2	5.032,6	7,6
SP	São Paulo	14	340	-	-	369,5	-	-	51.661,0	139,8
MG	Minas Gerais	18	389	109	28,0	278,5	70,4	25,3	35.414,1	127,2
RJ	Rio de Janeiro	11	429	14	3,3	254,4	14,3	5,6	1.257,8	4,9
ES	Espírito Santo	4	260	-	-	177,5	-	-	4.073,1	23,0
AL	Alagoas	6	100	48	48,0	140,3	88,9	63,4	9.776,6	69,7
AP	Amapá	4	103	0	0,0	88,4	0,0	0,0	823,4	9,3
DF	Distrito Federal	1	93	17	18,3	58,8	15,5	26,3	1.218,9	20,7
	TOTAL	513	48.471	9.323	19,2%	78.743,8	20.069,2	25,5%	580.549,7	7,4

O cruzamento dos dados da PPM com as baterias de viveiros escavados mapeadas pode ser, ainda, representado conforme a Figura 6, na qual estão plotados dados da quantidade produzida (eixo vertical esquerdo) e área mapeada (eixo vertical direito). Também são plotados, para cada UF, os dados de produtividade registrados na Tabela 2. Para os estados Rondônia, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Sul, Piauí, Roraima, Sergipe e Acre, o número de baterias de viveiros mapeadas foi significativamente maior que o dos demais estados com valores de produção aquícola similares, e pode inclusive indicar alvos mapeados que não são destinados para produção aquícola.

É importante destacar que os dados apresentados na Figura 6 são de caráter geral e que as diferenças nos valores de produção e na área mapeada são esperadas. Primeiramente, as metodologias de levantamento dos dados são completamente distintas. Ademais, a aquicultura brasileira utiliza diferentes sistemas de produção aquícola, como tanques-rede em reservatórios e cursos d'água, que não entraram no escopo deste mapeamento. Além disso, as formas de viveiros e as espessuras de lâminas d'água variam de acordo com a técnica de manejo empregada para cada espécie.

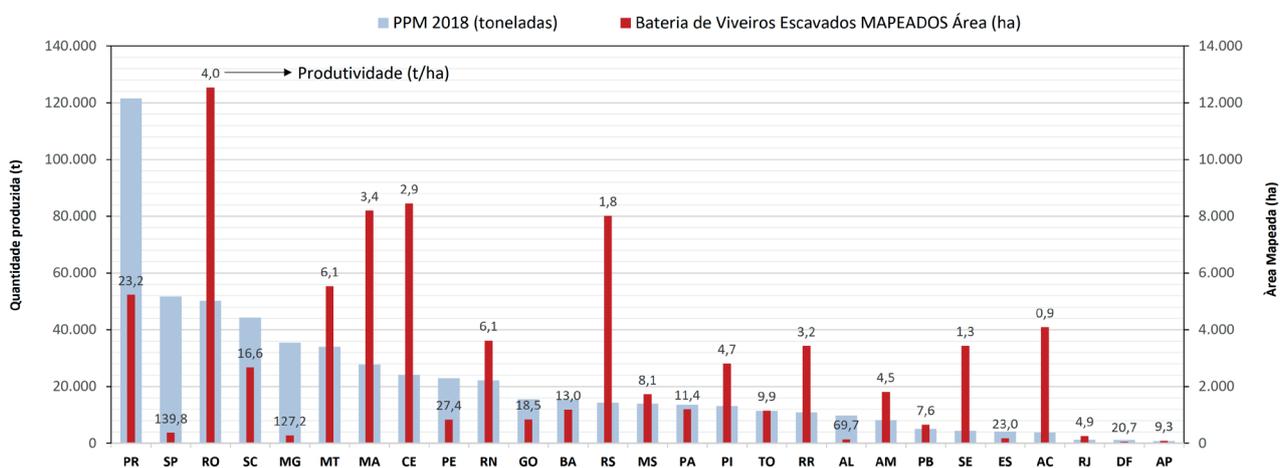


Figura 6. Dados de produção aquícola disponibilizados pela PPM-2018 do IBGE plotados com a área total mapeada de baterias de viveiros escavados para cada UF.

Conclusão

Este trabalho é uma primeira iniciativa de mapeamento sistemático, em escala nacional, de uma das principais estruturas produtivas da cadeia da aquicultura, que são os viveiros escavados. Como resultado, um total de aproximadamente 79 mil hectares foram mapeados como baterias de viveiros escavados, e aproximadamente um quarto dessa área foi validada a partir de dados secundários disponíveis sobre a atividade aquícola.

O cruzamento do mapeamento com dados de produção revelou relações distintas, visto que as formas de obtenção da informação são diferentes e que são empregadas diversas técnicas de manejo para um número significativo de espécies cultivadas no território nacional. Complementarmente, pode indicar erros de comissão no mapeamento, ou seja, a inclusão de estruturas não destinadas à produção aquícola.

Este mapeamento tem potencial para munir o setor público de informações visando o desenvolvimento de políticas públicas de incentivo aos produtores que tornarem suas atividades formais e profissionais, gerar políticas mais assertivas, com potencial de promover resultados de

maior valor agregado e melhoria de qualidade dos produtos aquícolas cultivados. Também pode ser de grande relevância para trabalhos futuros de extração automática de viveiros escavados, servindo como balizamento para os parâmetros do modelo utilizado. Com o processo automatizado, pode ser viável um acompanhamento temporal sistemático da atividade aquícola no País, de forma a contribuir com o ordenamento territorial da atividade econômica e a organização dos diferentes elos da cadeia produtiva aquícola nacional. O método de validação desenvolvido no escopo deste projeto também serve como referência para trabalhos futuros e em parceria com instituições federais e estaduais para gerenciamento do uso da água para aquicultura.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), da Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SAP-Mapa) e a parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no projeto “BRS Aqua - Ações estruturantes e inovação para fortalecimento das cadeias produtivas da aquicultura no Brasil”. Ademais, agradecemos o apoio financeiro do Fundo Amazônia-BNDES no projeto “Sistema de Inteligência Territorial Estratégica para Aquicultura na Amazônia” e a colaboração da Embrapa Pesca e Aquicultura na coordenação das iniciativas de pesquisa e na sistematização dos dados secundários utilizados no processo de validação deste mapeamento.

Referências

- ALEXANDRIDIS, T. K.; TOPALOGLOU, C. A.; LAZARIDOU, E.; ZALIDIS, G. C. The performance of satellite images in mapping aquacultures. **Ocean and Coastal Management**, v. 51, n. 8-9, p. 638-644, 2008. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.06.002>.
- ALLISON, E. H. **Aquaculture, Fisheries, Poverty and Food Security**. Penang, Malaysia: TheWorldFish Center, 2011. p. 62. (Working Paper, 65).
- BASURCO, B.; LOVATELLI, A. The Aquaculture Situation in the Mediterranean Sea Predictions for the Future. **Aqua Docs**, 2003. Disponível em: <https://aquadocs.org/handle/1834/543>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- BOIVIN, T. G.; DEAN, A. M.; WERLE, D. W.; JOHNSTON, E.; BRUCE, G. S.; SUVANACHAI, P. Earth Observation Opportunities in the Fisheries and Aquaculture Sectors. In: PROCEEDINGS OF THE 2004 ENVISAT & ERS SYMPOSIUM (ESA SP-572), 2004. **Proceedings...** Salzburg, Austria: ESA, 2004.
- BONFÁ NETO, D. O estado mundial da pesca e aquicultura em 2020. **Mares: Revista de Geografia e Etnociências**, v. 2, n. 2, p. 111-114, 2021. Disponível em: <http://revistamares.com.br/index.php/files/article/view/88>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- BRASIL. **Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <https://www.car.gov.br/#/sobre>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim da Aquicultura em Águas da União – 2020**: relatório anual de produção – RAP. Brasília, DF: MAPA; Secretaria de Agricultura e Pesca, 2021.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. 2010. Brasília, DF, fev. 2012.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. 2011. Brasília, DF, fev. 2012.
- 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**, v. 8, n. 4, 2016. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>.
- DUAN, Y.; LI, X.; ZHANG, L.; CHEN, D.; LIU, S.; JI, H. Mapping national-scale aquaculture ponds based on the Google Earth Engine in the Chinese coastal zone. **Aquaculture**, v. 520, p. 734666, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734666>.
- DWIVEDI, R.; SREENIVAS, K. Delineation and monitoring of aquaculture áreas using multi-temporal space-borne multispectral data. **Current Science**, v. 89, n. 8, p. 1414–1421, 2005.

EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA. **Pesca e Aquicultura**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/nota-tecnica>. Acesso em: 9 fev. 2022a.

EMBRAPA PESCA E AQUICULTURA. **Sobre o projeto**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/brsaqua/sobre-o-projeto>. Acesso em: 9 fev. 2022b.

ESRI. **Environmental Systems Research Institute** - ArcGIS Desktop - Version 10.7.22018.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Acesso em: 9 fev. 2022.

FAO. FAO Yearbook. **Fishery and Aquaculture Statistics 2019/FAO annuaire**. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019/FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb7874t>. Acesso em: 9 fev. 2022.

FUCHS, J.; MARTIN, J. L. M.; POPULUS, J. **Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnosis**. Issy-les-Moulineaux (France): Ifremer, 1998. 263 p.

GARAGORRY, F. L.; CHAIB FILHO, H. **Elementos de agrodinâmica**. Brasília, DF: Embrapa SGE, 2008.

IBGE. **PPM - Pesquisa da Pecuária Municipal, 2021**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 20 dez. 2021.

LOBERTERNOS, R.; PORPETCHO, W.; GRACIOSA, J. C.; VIOLANDA, R.; DIOLA, A.; DY, D.; OTADOY, R. E. An Object-Based Workflow Developed to Extract Aquaculture Ponds from Airborne LIDAR Data: a Test Case in Central Visayas, Philippines. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XLI-B8, p. 1147-1152, 2016. DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-1147-2016.

MARINI, Y.; EMIYATI, T. P.; HAMAHAZ, R.; BIDAWI, H. Fishpond aquaculture inventory in maros regency of south Sulawesi province. **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences**, v. 10, n. 1, p. 25-35, jun. 2013.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v. 405, n. 6790, p. 1017-1024, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35016500>.

NOVO, Y. C. C.; FARIAS, A. R.; FONSECA, M. F.; MAGALHÃES, L. A. Mapeamento de unidades de produção aquícola no estado do Paraná por meio de processamento e interpretação de imagens de satélite Sentinel. **RA'EGA**, Curitiba, PR, v. 54, p. 103-128, 2022. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1145231/1/6048.pdf>.

OTTINGER, M.; CLAUSS, K.; KUENZER, C. Large-scale assessment of coastal aquaculture ponds with Sentinel-1 time series data. **Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 440, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9050440>.

OTTINGER, M.; CLAUSS, K.; KUENZER, C. Opportunities and challenges for the estimation of aquaculture production based on Earth observation data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 7, p. 1076, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10071076>.

REN, C.; WANG, Z.; ZHANG, Y.; ZHANG, B.; CHEN, L.; XI, Y.; XIAO, X.; DOUGHTY, R. B.; LIU, M.; JIA, M.; MAO, D.; SONG, K. Rapid expansion of coastal aquaculture ponds in China from Landsat observations during 1984-2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 82, p. 101902, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101902>.

RENAUD, F. G.; LE, T. T. H.; LINDENER, C.; GUONG, V. T.; SEBESVARI, Z. Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta. **Climatic Change**, v. 133, p. 69-84, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1113-4>.

ROCHA, C. M. C. da; RESENDE, E. K. de; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, ano 48, n. 8, p. iv-iv, ago. 2013. Prefácio.

TRAVAGLIA, C.; PROFETI, G.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; LOPEZ, N. A. **Mapping coastal aquaculture and fisheries structures by satellite imaging radar**. Case study of the Lingayen Gulf, the Philippines. Rome, FAO: 2004. 45 p. (FAO Fisheries Technical Paper. 459).

VIRDIS, S. G. P. An object-based image analysis approach for aquaculture ponds precise mapping and monitoring: a case study of Tam Giang-Cau Hai Lagoon, Vietnam. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 186, p. 117-133, 2014.

XIA, Z.; GUO, X.; CHEN, R. Automatic extraction of aquaculture ponds based on Google Earth Engine. **Ocean & Coastal Management**, v. 198, p. 105348, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105348>.

YU, Z.; DI, L.; RAHMAN, M. S.; TANG, J. Fishpond mapping by spectral and spatial-based filtering on Google Earth Engine: a case study in Singra Upazila of Bangladesh. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2692, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172692>.

ZENG, Z.; WANG, D.; TAN, W.; YU, G.; YOU, J.; LV, B.; WU, Z. RCSANet: a full convolutional network for extracting inland aquaculture ponds from high-spatial-resolution images. **Remote Sensing**, v. 13, n. 92, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13010092>.

ZHANG, T.; QIN, L.; YANG, X.; ZHOU, C.; SU, F. Automatic mapping aquaculture in coastal zone from TM imagery with OBIA approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS, 18., 2010, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing, jun. 2010. p. 18-20.

Embrapa

Territorial