



Análise Multicritério em Ambiente SIG na Indicação de Áreas Adequadas à Piscicultura no Nordeste do Estado do Pará

Lucas de Farias Mota¹ Nelson de Almeida Gouveia² Eduardo Tavares Paes³ Orlando dos Santos Watrin⁴ Iurick Saraiva Costa⁵ Francisco José de Oliveira Parise⁶

¹ Mestrando em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, E-mail: lucasmota@ufpe.br (autor correspondente)

² Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, E-mail: nelson.gouveia@ufra.edu.br

³ Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, E-mail: eduardo.paes@ufra.edu.br

⁴ Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, E-mail: orlando.watrin@embrapa.br

⁵ Mestrando em Recursos Aquáticos e Tropicais, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), E-mail: iurickcosta@gmail.com

⁶ Professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, E-mail: francisco.parise@ufra.edu.br

Artigo recebi em 03/03/2023 e aceito em 02/03/2024

RESUMO

Para subsidiar a gestão o uso sustentável de uma área, a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes, contribuem para uma melhor definição das diretrizes e ações a serem efetivadas no espaço físico-territorial. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de adequação das terras em região do nordeste do Estado do Pará para a implantação de empreendimentos de piscicultura com a utilização de viveiros escavados, a partir da definição de cinco critérios: declividade, altitude, solos, proximidade de estradas e uso e cobertura da terra. Os dados foram adquiridos de fontes oficiais e integrados em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Com a utilização da Análise Hierárquica Multicritério (AHP) foi possível atribuir pontuações para os critérios e integrá-los em uma matriz de comparação pareada para obtenção dos pesos de cada um dos critérios definidos. Os resultados indicaram que mais de 80% das terras na região de estudo são consideradas aptas para o desenvolvimento da piscicultura, sendo as áreas “totalmente adequadas” um pouco inferiores as áreas “adequadas”, pela escala de adequação adotada. Já as áreas que apresentaram algum tipo de restrição a essa atividade, consideradas terras “pouco adequadas”, “inadequadas” e “restritivas” nunca apresentaram taxas individuais superiores a 11% do total do território em questão.

Palavras-chave: Piscicultura. Sistema de Informações Geográficas (SIG). Análise Hierárquica Multicritério (AHP). Amazônia Oriental.

Multicriteria Analysis in GIS Environment in Indicating Areas Suitable for Fish Farming in the Northeast of the State of Pará

ABSTRACT

Identifying natural environments and their potential and emerging weaknesses is essential for defining the guidelines and actions to support an area's management and sustainable use. This study evaluated land suitability in northeast Pará for implementing fish farming enterprises using excavated ponds based on five criteria: slope, altitude, soils, proximity to roads, and land use and cover. Official data was integrated into a Geographic Information System (GIS) environment. Hierarchical Multi-Criteria Analysis (AHP) was used to assign scores to the criteria and integrate them into a paired comparison matrix to obtain the weights for each criterion. The results showed that over 80% of the land in the study area is suitable for fish farming, with slightly fewer areas being "totally suitable" than "suitable" according to the suitability scale adopted. Areas that presented some restriction to this activity, considered "not very suitable," "unsuitable," and "restrictive" lands, never exceeded 11% of the total territory analyzed.

Key-words: Fish Farming. Geographic Information System (GIS). Hierarchical Multicriteria Analysis (AHP). Eastern Amazon.

Introdução

A demanda por proteína de peixe tem aumentado em todo o mundo, especialmente nos últimos anos (FAO, 2019; Copolla et al., 2021). Entretanto, em virtude da existência de áreas com recursos hídricos limitados e da produção

pesqueira não demonstrar sinal de aumento após o início da década de 1990, isso tem sido motivo de grande preocupação (Boyd et al., 2022). Por sua vez, a aquicultura é uma das partes do sistema de produção de proteína que mais cresce (fornecendo cerca de 49,2% da demanda global), sendo

considerada adequada para fornecer proteína capaz de suportar a demanda global (FAO, 2020a).

A piscicultura é um dos segmentos da aquicultura que atua na produção de alevinos e peixes que tem experimentado um crescimento no cenário Mundial (Ono e Kubtiza, 2002). De acordo com o relatório da FAO (2022), a pesca e aquicultura atingiram recorde de produção de 214 milhões de toneladas em 2020, esse resultado foi em grande parte, devido ao crescimento da aquicultura.

No Brasil, a atividade da piscicultura tem apresentado grandes avanços, seja na geração de renda, postos de trabalho e segurança alimentar. Essa atividade possibilita maior eficiência no uso da água devido a reutilização para outros fins como irrigação, sendo muito relevante para regiões que apresentam restrição hídrica (Ximenes e Vidal, 2023).

Segundo a Associação Brasileira da Piscicultura PEIXES BR (2023), a produção brasileira de peixes de cultivo chegou a 860.355 mil toneladas no ano de 2022, com um aumento de 48,6% sobre a produção do ano de 2014, sendo um acréscimo de 281.555 mil toneladas dentro de nove anos.

No Estado do Pará, o cultivo de peixes é o segmento da aquicultura que mais tem evoluído, ocorrendo em seus 144 municípios (Brabo et al., 2016). Os empreendimentos são caracterizados como de pequeno porte, sendo desenvolvido em açudes particulares, viveiros de barragem, viveiros escavados, tanques redes, gaiolas flutuantes e canais de igarapé (Brabo, 2014).

A piscicultura paraense, no ano de 2022, foi responsável por uma produção de 25.120 mil toneladas, ocupando apenas a 13ª colocação no ranking nacional de produção de peixes de cultivo (PEIXES BR, 2023).

A região nordeste do estado apresenta uma grande quantidade de empreendimentos aquícolas (Souza et al., 2023) mas ainda é subutilizada frente ao seu real potencial para o desenvolvimento dessa atividade produtiva. Tal região possui uma localização privilegiada por estar inserida próxima de centros urbanos e comerciais importantes, com destaque para a região metropolitana de Belém e de municípios adjacentes que atuam na distribuição e fornecimento de insumos e demais elos da cadeia produtiva do pescado (IBGE, 2020).

Assim, visto o potencial da região na criação de peixes em viveiros escavados, vislumbra-se que é possível aumentar o desenvolvimento com investimentos e o fortalecimento da cadeia produtiva local. Consequentemente, isso permitirá o aumento do

número de empreendimentos, bem como a geração de emprego e renda (Souza et al., 2023).

No entanto, em determinados casos, os empreendimentos de piscicultura que utilizam viveiros escavados estão sendo instalados em áreas com algum tipo de restrição (Francisco et al., 2019). Segundo Oliveira (1999), compreende-se que os viveiros escavados são reservatórios artificiais escavados em terreno natural com utilização de mecanismos de abastecimento e drenagem de água, permitindo seu enchimento e secagem em curtos intervalos de tempo. Por isso, a seleção do local para implementar o empreendimento apresenta-se como um pré-requisito para evitar problemas ambientais e para o desenvolvimento da atividade.

No que tange a estudos de implantação de empreendimentos de piscicultura em sistema de viveiros escavados, uma das questões críticas que devem ser consideradas pelos gerentes de piscicultura é a avaliação da adequação das terras do local a ser destinados aos mesmos. A seleção adequada do local requer a integração de diversos fatores socioeconômico e ambientais para alcançar maior eficiência do empreendimento e reduzir seus impactos ambientais. (Von Thenen et al., 2020).

No que concerne ao planejamento do uso das terras, a realização de estudos prognósticos que subsidiem a ocupação e uso de forma adequada das mesmas, constitui uma ação de extrema relevância para a sustentabilidade socioeconômica e ambiental. Dentre esses estudos, citam-se aqueles baseados na Análise Hierárquica Multicritério (Saaty, 1990), que consiste em um método de análise de alternativas para resolução de um problema que faz uso de vários parâmetros relacionados ao objeto de estudo, permitindo assim identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado.

A análise multicritério desenvolvida em ambiente computacional consiste em um processo que transforma e combina dados geográficos e valores de decisão para obtenção de respostas espaciais do problema de interesse, dando apoio ao planejamento e a gestão do mesmo. Nesse contexto, o uso de produtos e técnicas de geotecnologias contribuem na obtenção de dados e informações (Sartori et al., 2012) que apresentam potencialidade para subsidiar estudos de análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras.

Além disso, os produtos gerados a partir dessa abordagem têm sido empregados para contribuir no planejamento, na tomada de decisões e na avaliação de locais adequados para a implantação de empreendimentos econômicos

específicos (Depieve et al., 2023). No caso das aplicações para a seleção de locais adequados à piscicultura, os resultados tem se mostrados bastantes robustos, pois permitem lidar com problemas espaciais complexos, com o envolvimento de diversas variáveis. Ramos et al., (2021) utilizaram as geotecnologias para avaliar a potencialidade para implantação de empreendimentos aquícolas marinhos na Amazônia Oriental e Francisco et al. (2019) utilizaram geotecnologias e análise multicritério para classificar áreas adequadas para instalação de

empreendimentos de piscicultura no Estado do Paraná.

De posse destas premissas, o presente trabalho busca a partir da aplicação da análise multicritério em ambiente SIG, permitir a identificação e a avaliação de áreas favoráveis à implantação de empreendimentos de piscicultura em sistema de viveiro escavado em região do nordeste do Estado do Pará. Espera-se ainda que esse estudo, possibilite a redução de custos e tempo na implementação de novos empreendimentos na região, além de dar subsídios para realização de análise regional de logística espacial.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo, com uma extensão territorial de 3.761 km², corresponde a microrregião de Castanhal, no nordeste do Estado do Pará a mesma compreende os seguintes municípios: Bujaru, Castanhal, Inhangapi, Santa Izabel do Pará e Santo Antônio do Tauá (Figura 1).

O clima é do tipo Ami, de acordo com a classificação de Köppen, com médias de temperatura anual, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, de 26°C, 2.600 mm, e 90%, respectivamente.

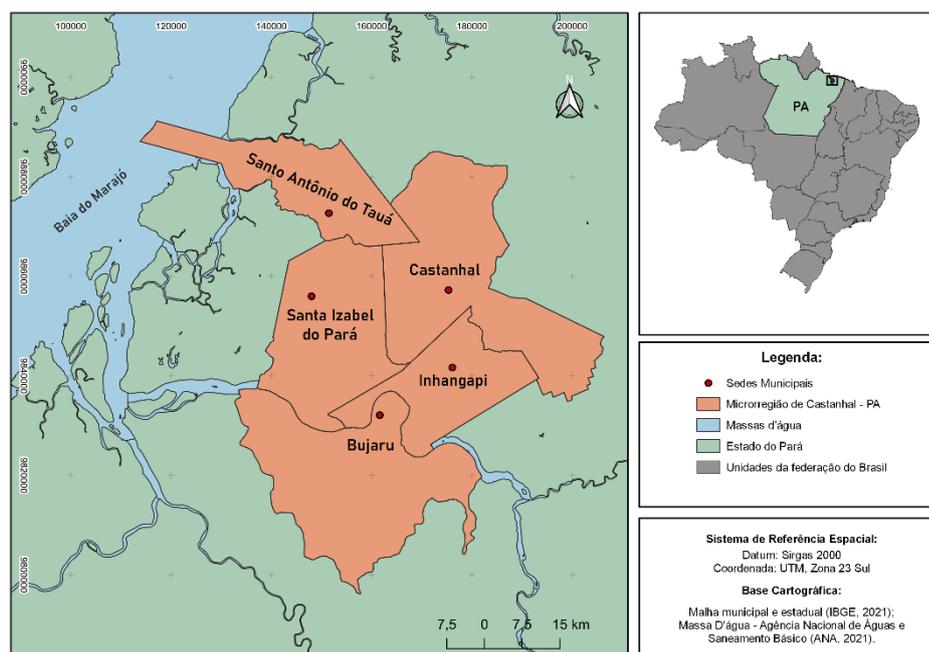


Figura 1. Localização da região de estudo, no nordeste do Estado do Pará.

Aquisição dos dados

Para iniciar o processo de sistematização de dados necessários à execução das análises previstas neste trabalho, foram obtidos dados temáticos gratuitos em diferentes instituições oficiais. Para definição da região de estudo, foi usada a grade municipal disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:250.000, em formato de dados vetoriais shapefile (shp). De modo análogo, os dados pedológicos necessários foram adquiridos

no acervo de informações ambientais do IBGE, sob a mesma escala e formato. No caso dos dados relativos à malha viária, os mesmos foram obtidos a partir do visualizador de informações geográficas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em formato vetorial (shp). As informações topográficas necessárias (altitude e declividade) foram definidas por meio de um modelo digital de elevação (MDE), disponível no software QGIS. Para isso, foi considerado o plugin OpenTopography, do produto global NASADEM,

por sua vez, derivado de dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial aproximada de 30 m. Por fim, os dados de uso e cobertura da terra, foram obtidos por meio do projeto MapBiomas em formato raster (GeoTiff), na escala de 1:100.000 e com resolução espacial de 30m. Esse produto temático vem sendo utilizado em diversos estudos no contexto amazônico, notadamente nos de temática ambiental, como o apresentado por Ribeiro (2022) que analisou a perda de vegetação natural, como apoio à legislação florestal no município de Bragança, no Estado do Pará.

Padronização dos dados espaciais

Todos os dados espaciais selecionados foram reprojatados para o DATUM oficial do Brasil, o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, 2000) com a

projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e fuso 23 Sul, estabelecido pelo IBGE.

Identificação e classificação dos critérios

No presente estudo, foram definidos os seguintes critérios a serem analisados: declividade, altitude, solos, uso e cobertura da terra e proximidade de estradas, conforme apresentado na Tabela 1. Para a declividade foram considerados quatro classes, Plano (0 a 2%), suave ondulado (2 a 5%), moderadamente ondulado (5 a 10%) e ondulado (10 a 15%) (Lepsch et al., 1983). O critério altitude foi distribuído em quatro classes variando de 17 em 17 metros. Os solos foram identificados e classificados em sete tipos, enquanto para os critérios uso e cobertura da terra e proximidade de estradas foram definidas treze e quatro classes, respectivamente (Francisco et al., 2019).

Tabela 1. Definição dos critérios e respectivas classes consideradas para a região de estudo.

Declividade (%)	Altitude (m)	Solos	Uso e cobertura da terra	Proximidade de estradas (m)
0-2%	0-17	Espodossolo Ferri-Humilúvico Hidromórfico	Formação florestal	15 - 2.500
2-5%	17-34	Plintossolo Pétrico Concrecionário	Formação savânica	2.500 - 5.000
5-10%	34-51	Latossolo Amarelo Distróficos	Mangue	5.000 – 15.000
10-15%	51-68	Gleissolo Tiomófico Órtico	Campo alagado e área pantanosa	>15.000
		Gleissolo Háptico Distrófico	Formação campestre	
		Neossolo Quartzarênico Órtico	Pastagem	
		Neossolo Flúvico Distrófico	Soja	
			Outras lavouras temporárias	
			Outras lavouras perenes	
			Silvicultura	
			Área urbanizada	
			Mineração	
			Rio, Lago e Oceano	

Método e procedimento de análise hierárquica multicritério (AHP)

O método de análise hierárquica multicritério (AHP) foi utilizado no presente trabalho, pois permite ao usuário atribuir pesos para múltiplos atributos ou que seja atribuído múltiplas alternativas a um determinado atributo ao mesmo tempo que ocorre uma comparação pareada entre eles (Saaty, 1990). Assim, os critérios foram ponderados a partir da criação de um procedimento

de pontuação e reclassificação, possibilitando estabelecer e avaliar cada critério na abordagem de estudo, conforme as seguintes indicações: 4 = totalmente adequado, 3 = adequado, 2 = pouco adequado e 1 = muito pouco adequado (Falconer et al., 2016). Na Tabela 2 é possível visualizar cada critério com suas respectivas pontuações.

Tabela 2. Definição dos critérios adotados e suas pontuações correspondentes

Modelo de Adequação	Totalmente adequado (4)	Adequado (3)	Pouco adequado (2)	Inadequado (1)	Referências
Declividade	0 – 2	2 - 5	5 - 10	> 10	Adaptado de: Francisco et al. (2019)
Altitude	≤60	-	60 - 100	>100	Adaptado de: Francisco et al. (2019)
Tipos de solo	-	LAD	NQO NFD	EFH GTO GHD PPC	Adaptado de: Francisco et al. (2019)
Uso e cobertura da terra	Agropecuária	-	Formação natural não florestal	Florestas Áreas não vegetadas Corpos d'água	Adaptado de: Francisco et al. (2019)
Proximidade das estradas (m)	15 - 2.500	2.500 - 5.000	5.000 - 15.000	>15.000	Adaptado de: Volcker e Scott (2008)

Onde, LAD = Latossolo Amarelo Distrófico; NQO = Neossolo Quartzarênico Órtico; NFD = Neossolo Flúvico Distrófico; EFH = Espodossolo Ferri-humilúvico Hidromórfico; GTO = Gleissolo Tiomórfico Órtico; GHD = Gleissolo Háptico Distrófico e PPC = Plitossolo Pétrico Concrecionário.

Fonte: Adaptado a partir de Francisco et al (2019).

Definição dos pesos através do método (AHP)

O peso de cada um dos fatores foi definido por meio de uma comparação da matriz pareada de acordo com o contexto do AHP (Saaty, 1990). Essas comparações trabalham com a importância relativa entre dois fatores como está representado na Tabela 3. Tal escala de avaliação é dividida em

nove níveis e pontuada em uma escala contínua de dezessete pontos, onde 1/9 e 1/8 representam as pontuações menos importantes, enquanto as pontuações 8 e 9 são consideradas as mais importantes nessa escala.

Tabela 3. Escala de importância relativa entre dois critérios.

1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extremamente		Muito forte		Forte		Moderado		Igual	Moderado		Forte		Muito Forte		Extremamente	
Pouco Importante								Muito Importante								

Fonte: Adaptado a partir de Francisco et al., (2019).

A partir da utilização da escala de importância relativa, foi construída a matriz de comparação para estabelecer os critérios de relevância. Essa matriz é quadrada, com valores iguais na diagonal principal. Como os critérios foram classificados a partir da revisão da literatura, as avaliações são subjetivas e podem tornar a

matriz final inconsistente. Por isso, é preciso definir um valor aceitável para essa inconsistência para que o método AHP calcule uma razão de inconsistência (RC) comparando o índice de consistência (IC) da matriz versus o índice de consistência aleatório (RI) (Saaty, 1990).

O Índice de consistência aleatório (RI) de referência considerando o número de critérios está disposto na (Tabela 4), pela qual Saaty (1990) sugere que o resultado de (RC) deva ser inferior a 0,10 ou 10% para que haja uma consistência

satisfatória dos dados. Dessa maneira, é possível indicar confiabilidade dos julgamentos definidos na matriz pareada, onde os valores acima de 10% indicam inconsistências e o método AHP poderá não produzir resultados satisfatórios.

Tabela 4. Valores do Índice de Consistência Aleatório (RI), sendo o (n) o número de critérios adotados.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fonte: Adaptado a partir de Saaty (1990).

Integração dos dados

Após a definição dos pesos de cada um dos critérios definidos no presente trabalho, foi elaborada a matriz de comparação pareada

apresentada na Tabela 5. Foram construídas seis matrizes para cada um dos critérios selecionados, considerando pesquisas anteriores.

Tabela 5. Matriz de comparação pareada com os critérios para identificar as áreas apropriadas para a piscicultura na região de estudo.

Comparação da matriz pareada (A)	Normalização da matriz ^a					(ω) ^b	λ_{max} ^c	IC ^d	IR ^e	RC ^f						
	D	A	S	U	E											
D	1	3	2	7	3	0,433	0,382	0,518	0,412	0,300	0,409	5,243	0,061			
A	0,33	1	0,3	3	2	0,144	0,127	0,085	0,176	0,200	0,147	5,107	0,027			
S	0,50	3	1	5	3	0,216	0,385	0,259	0,294	0,300	0,291	5,246	0,062			
U	0,14	0,33	0,20	1	1	0,062	0,042	0,052	0,059	0,100	0,063	5,067	0,017			
E	0,33	0,50	0,33	1	1	0,144	0,064	0,086	0,059	0,100	0,091	5,079	0,020			
Soma (Σ)	2,31	7,86	3,86	17,0	10,0							1,000	5,148	0,037	1,12	0,033

D = Declividade; A = Altitude; S = Solos; U = Uso e cobertura da terra e E = Proximidade de estradas
 a. Soma os valores de cada coluna da matriz de comparação pareada e cada valor da matriz é dividida pela soma da coluna e resulta a matriz de comparação normalizada.
 b. O (ω) é a média dos valores de cada linha da matriz de comparação normalizada, resultando os pesos de cada critério.
 c. λ_{max} = É o resultado do produto da matriz, multiplicado pela coluna (ω) e o resultado é obtido pela divisão de cada linha pelo correspondente (ω) de modo a obter λ_i de um λ , vetor de estimativa, e aproximando λ da média de λ_i , resultando em $\lambda = 5,148$.
 d. O índice de consistência (IC) é calculado conforme $\Sigma (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, resultando em IC = 0,037
 e. O índice de consistência aleatória (IR) sugerido por Saaty (1999) para 5 critérios é de 1,12.
 f. A razão de inconsistência (RC) é a divisão entre IC/IR, sendo $0,037/1,12 = 0,033$.

Fonte: Adaptado a partir de Francisco et al (2019).

Áreas restritivas

Nesse estudo, foram identificadas áreas restritivas para o desenvolvimento da piscicultura em viveiros escavados. Tais áreas foram consideradas restritivas por imposições legais e por aspectos técnicos: áreas florestais, unidades de

conservação (UCs), áreas urbanizadas e áreas de preservação permanente (APPs). Os corpos d'água como rios, canais, valas e lagos que são essenciais para a piscicultura, também foram considerados com áreas restritas por não ser viável a construção de viveiros escavados dentro de corpos d'água

Resultados e discussão

Caracterização dos fatores de adequabilidade para piscicultura

Os resultados revelam que a região de estudo está situada em terreno predominantemente plano, sendo a declividade caracterizada como plana à suave ondulada (Figura 2a). O critério declividade foi reclassificado seguindo as pontuações da Tabela 2, identificando que tal região está sob o domínio de áreas consideradas adequadas e altamente adequadas para o desenvolvimento da piscicultura, tendo poucas áreas caracterizadas como pouco adequadas e inadequadas (Figura 2b). De acordo com Barcellos (2022), a topografia é essencial na escolha do local para implantação de

empreendimentos de piscicultura, sendo preferível optar por terrenos planos com declive suave, de no máximo 2%. Terrenos acima de 5% de declividade não são aptos para o desenvolvimento dessa atividade, pois os cortes e aterros para a construção de taludes demandarão uma grande movimentação de terra que poderá inviabilizar o empreendimento por encarecerem o projeto de construção. A declividade foi o critério considerado com a maior relevância na análise em estudo, sendo atribuído o maior peso, correspondendo a 41%, como apresentado na Tabela 6.

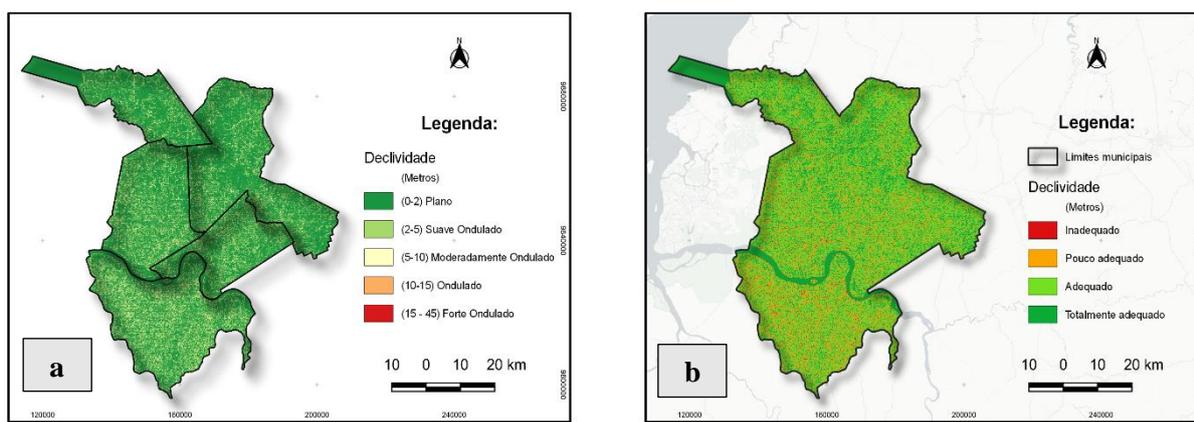


Figura 2. Mapa temático de caracterização do critério declividade (a) e mapa reclassificado do critério declividade (b) na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Tabela 6. Classificação dos pesos entre os critérios estabelecidos no estudo.

Critérios	Rank dos pesos	Porcentagem
Declividade	0,409	41%
Solos	0,291	29%
Altitude	0,147	15%
Proximidade de Estradas	0,091	9%
Uso e cobertura da terra	0,063	6%
Total	1,00	100%

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nos resultados definidos para o critério altitude, é possível identificar que o valor máximo na região é de aproximado 70 m (Figura 3a), sendo os municípios de Bujaru e Castanhal apresentaram as maiores altitudes. Em contrapartida, os municípios de Santa Izabel e Inhangapi registraram as menores altitudes, com 65 m e 63 m, respectivamente. Com a reclassificação

do critério altitude (Tabela 2), foi observado que a região de estudo está praticamente toda abaixo de 60 m, o que credencia a região como totalmente adequada para o desenvolvimento da piscicultura. Além disso a altitude foi o terceiro critério com maior relevância correspondendo a 15% de relevância como indicado na Tabela 6.

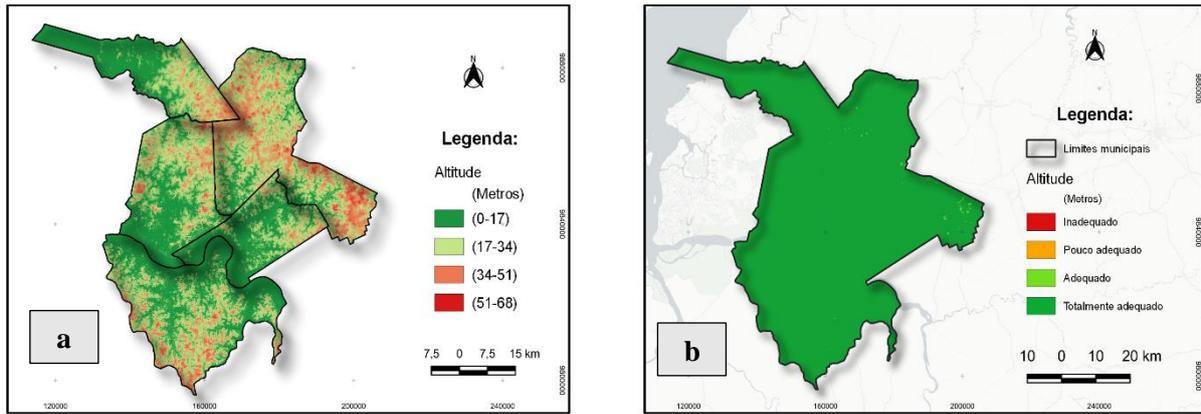


Figura 3. Mapa temático de caracterização do critério altitude (a) e mapa reclassificado do critério altitude (b) na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Os tipos de solos presentes na região de estudo foram identificados como: Espodosolo Ferri-Humilúvico, Plintossolo Pétrico, Gleissolo Tiomórfico, Gleissolo Háptico, Latossolo Amarelo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Flúvico (Figura 4a). Com a identificação dos tipos de solos, foi realizada a reclassificação seguindo as pontuações estabelecidas na Tabela 2. A rigor, nenhum dos tipos de solos mapeados foi considerado totalmente adequado (Figura 4b), por não apresentarem as melhores propriedades para construções de viveiros escavados, principalmente no que tange aos seus atributos físicos. Entretanto, o Latossolo Amarelo, o tipo de solo predominante na região de estudo, foi classificado como adequado, por apresentar textura média à argilosa, além de possuir ótima aptidão agrícola em terrenos planos. Por sua vez, os solos Neossolo Quartzarênico e o Neossolo Flúvico foram classificados como pouco adequados, por apresentarem textura arenosa e localizados

próximos de cursos d'água e de vegetação higrófila. Os solos definidos como inadequados para construção de viveiros escavados, foram o Espodosolo Ferri-Humilúvico, Plintossolo Pétrico, o Gleissolo Tiomórfico e o Gleissolo Háptico, por apresentarem características indesejadas como, presença de argila em baixa atividade, alta permeabilidade e ocorrência em áreas sujeitas à inundação periódica dos rios (várzeas).

Nesse estudo, o critério solo foi considerado o segundo critério com maior relevância, representando 29%, como pode ser observado na Tabela 6. Os estudos de Hossain et al., (2007) constataram que o solo muito permeável é o menos adequado para a construção de viveiros escavados, por conta da perda de água por vazamentos e infiltração, o que resulta em maior demanda por água e bombeamento e assim tornando o custo do empreendimento elevado.

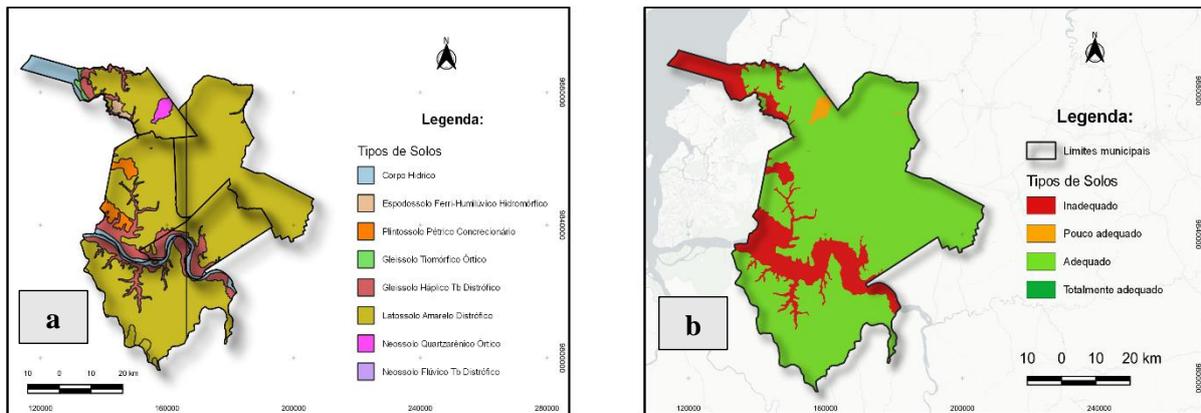


Figura 4. Mapa temático de caracterização do critério Solos (a) e mapa reclassificado do critério tipos de solos (b) na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Na (Figura 5a) é apresentado o mapa temático de uso e cobertura da terra da região de

estudo, sendo observado o predomínio de áreas associadas às classes formação florestal e

pastagem. Os tipos de uso e cobertura da terra foram reclassificados de acordo com as pontuações da Tabela 2, sendo definidas como totalmente adequados as classes vinculadas às atividades agropecuárias (pastagem, soja, outras lavouras temporárias, outras lavouras perenes e silvicultura), por serem áreas já alteradas e estarem assentadas em relevo plano. Por outro lado, as classes associadas a formações naturais não florestais (campo alagado e área pantanosa) foram classificadas como pouco adequadas. Já os tipos de uso e cobertura classificados como áreas inadequadas à piscicultura, contemplaram áreas florestais (formação florestal, formação savânica e

mangue), áreas não vegetadas (área urbanizada e mineração) e áreas de corpos d'água (rio, lago e oceano), como pode ser observado na (Figura 5b).

O critério uso e cobertura da terra foi considerado o de menor relevância, recebendo assim o menor peso (6%), como definido na Tabela 6. Consideradas como áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos de piscicultura, as áreas já ocupadas por atividades agropecuárias, são prioritárias devido essa atividade ser realizada geralmente em terrenos com baixa variação de declividade o que facilita os trabalhos de terraplanagem (Volcker e Scott, 2009).

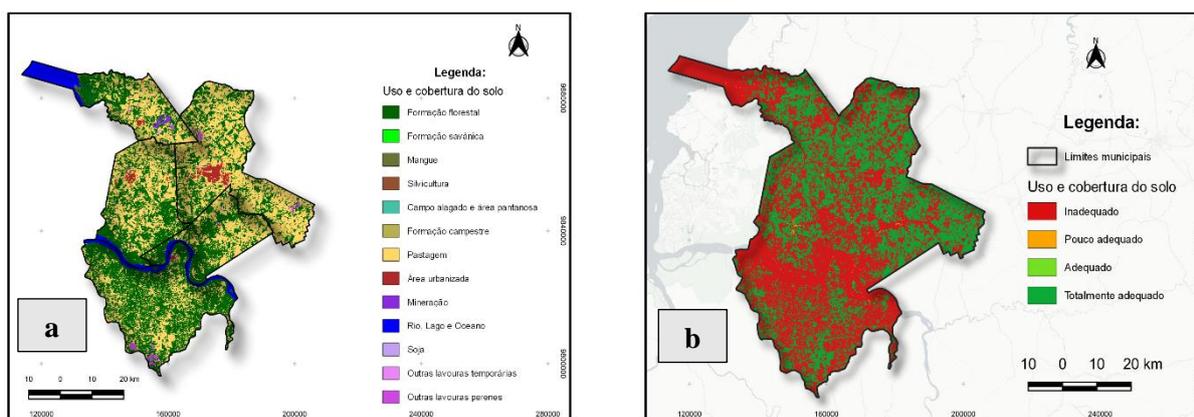


Figura 5. Mapa temático de caracterização do critério uso e cobertura da terra (a) e mapa reclassificado do critério uso e cobertura da terra (b) na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

O critério proximidade de estradas está representado na (Figura 6a), sendo estratificado em estradas municipais, estaduais e federais para melhorar a visualização. A estrada federal BR-316 é uma via fundamental de acesso a outros municípios e estados, além de ser extremamente útil no escoamento de materiais, tecnologias e insumos para a região. O critério proximidade de estradas foi reclassificado de acordo com as pontuações estabelecidas na Tabela 2, gerando como resultado, que as distâncias inferiores a 2.500 m e superiores a 15.000 m foram consideradas adequadas e inadequadas, respectivamente, para o desenvolvimento da piscicultura (Figura 6b).

A distância de estradas representou 9% de relevância de acordo com o ranqueamento dos pesos (Tabela 6). Conforme Ono e Kubitza (2002), a proximidade e o acesso com diversos mercados são fatores decisivos na seleção de locais para empreendimentos de piscicultura. A partir de um posicionamento logístico adequado, é possível reduzir custos com transportes, minimizando os riscos de comercialização por estar afastado de centros de comercialização, e assim melhorar a competitividade do empreendimento.

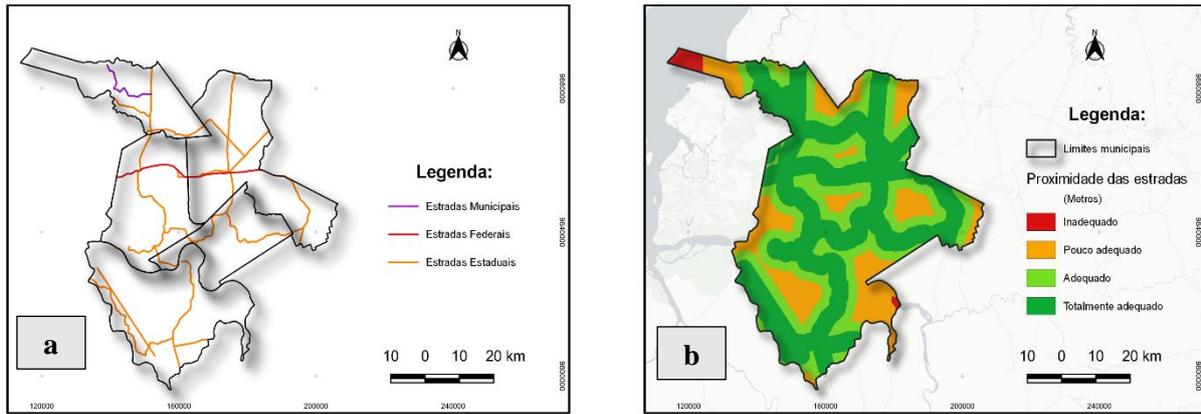


Figura 6. Mapa temático de caracterização do critério proximidade das estradas (a) e mapa reclassificado do critério proximidade das estradas (b) na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Análise de adequação de áreas para a piscicultura

O mapa de adequação para implantação de empreendimentos de piscicultura na região de estudo (Figura 8), foi elaborado a partir dos mapas

reclassificados e dos pesos definidos na matriz de comparação pareada Tabela 6, por meio da resolução da Equação 1.

$$\text{Mapa Final} = [(0,409 * D) + (0,147 * A) + (0,291 * S) + (0,063 * U) + (0,091 * E)] * (A) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

- D: Declividade (Figura 2b)
- A: Altitude (Figura 3b)
- S: Solos (Figura 4b)
- U: Uso e cobertura da terra (Figura 5b)
- E: Proximidade de estradas (Figura 6b)
- A: Adequação de áreas (Figura 7b)

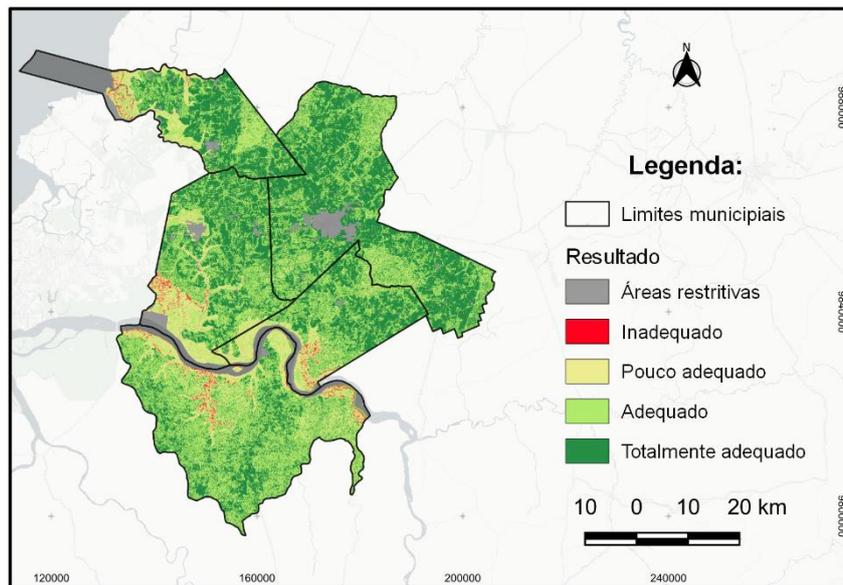


Figura 7. Mapa das classes de adequação para implantação de empreendimentos de piscicultura na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Com os resultados definidos a partir da matriz pareada foi realizado o processo de verificação de consistência dos resultados obtidos. A razão de inconsistência (RC) para os critérios foi de 0,033, conforme pode ser observado na Tabela

5. Esse valor representa uma consistência satisfatória e indica confiabilidade nos julgamentos definidos na matriz pareada por ser inferior a 0,10.

Com a elaboração do mapa de adequação (Figura 7) verificou-se que mais de 80% da região

de estudo apresenta adequação para o desenvolvimento da piscicultura em viveiros escavados. Essa informação está calcada no fato que as áreas consideradas “totalmente adequadas” e “adequadas” ao empreendimento representam respectivamente 39,9% (1.503,92 km²) e 41,3% 1.556,66 km² (Tabela 7). Ainda pela Tabela 7

pode-se também observar que as áreas “pouco adequadas” e “áreas inadequadas” ocupam porções proporcionalmente menores que as duas classes citadas anteriormente, sendo respectivamente de 10,2% (382,79 km²) e de 0,9% (32,19 km²).

Tabela 7. Área e porcentagem das classes para implantação de empreendimentos de piscicultura em viveiros escavados na região de estudo, nordeste do Estado do Pará.

Escala de adequação	Área (km ²)	Área (%)
Totalmente adequado	1.503,92	39,9%
Adequado	1.556,66	41,3%
Pouco adequado	382,79	10,2%
Inadequado	32,19	0,9%
Áreas restritivas	289,94	7,7%
Total Área	3765,50	100,0%

Ainda no contexto do mapeamento em questão Tabela 7, a classe definida como “áreas restritivas” ocupa 289,94 km² (7,7%), sendo referentes aos segmentos da paisagem onde não é possível desenvolver piscicultura em viveiros

escavados, devido a fortes restrições ambientais e físicas. Sendo assim, são enquadrados nessa classe os corpos hídricos, as APPs, as UCs e as áreas urbanizadas (Figura 8).

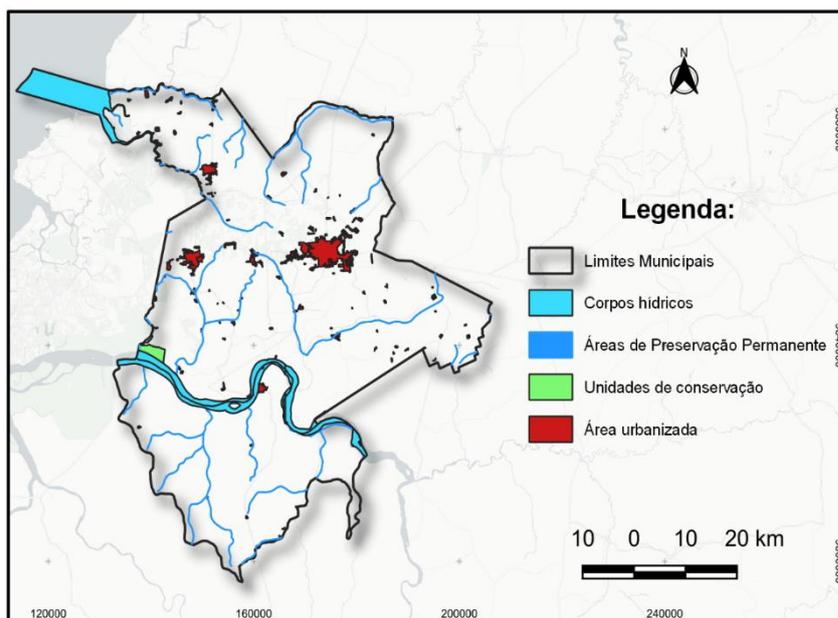


Figura 8. Mapa das restrições para a implantação de empreendimentos de piscicultura em viveiros escavados na região de estudo, Nordeste do Estado do Pará.

Na avaliação das escalas de adequação para os municípios pertencentes a região de estudo Tabela 8, foi observado que o município de Castanhal apresentou a maior concentração de áreas “totalmente adequadas” para o

desenvolvimento da piscicultura em viveiros escavados, com 55,5% (571,47 km²). Em oposição a esse resultado, o município de Bujaru registrou apenas 27,2% (273,84 km²) de áreas com tal escala de adequação. Por sua vez, no que tange aos

municípios que definiram as maiores taxas com algum tipo de tipo de inadequação ao desenvolvimento da atividade produtiva de interesse, Santa Isabel do Pará apresentou 14,3% (103,01 km²) de terras consideradas “pouco adequadas”, enquanto Bujaru assinalou 1,4% (13,92 km²) de áreas referidas pela análise como

“inadequadas”. A partir da Tabela 8 pode-se ainda observar que o município de Santo Antônio do Tauá foi aquele que registrou a maior área com a escala máxima de “restrições” (92,92 km² ou 17,6% do total), devido uma parte significativa da porção oeste do seu território estar associada à massas d’água formadas pela baía do Marajó

Tabela 8. Avaliação das escalas de adequação de acordo com os municípios pertencentes a microrregião de Castanhal.

Municípios	Bujaru		Castanhal		Inhangapi		Santa Isabel do Pará		Santo Antônio do Tauá	
	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)	km ²	(%)
Inadequado (1)	13,92	1,4%	0,03	0,0	5,07	1,1%	7,87	1,1%	5,29	1,0%
Pouco adequado (2)	135,79	13,5%	23,81	2,3%	58,63	12,4%	103,01	14,3%	61,54	11,7%
Adequado (3)	526,19	52,3%	386,45	37,5%	195,01	41,3%	285,75	39,7%	163,26	30,9%
Totalmente adequado (4)	273,84	27,2%	571,47	55,5%	180,60	38,3%	272,81	37,9%	205,20	38,8%
Restrições	56,61	5,6%	48,23	4,7%	32,75	6,9%	49,58	6,9%	92,92	17,6%
Total Área	1006,36	100%	1029,98	100%	472,06	100%	719,02	100%	528,21	100%

Conclusões

A avaliação de adequação de terras para a piscicultura em viveiros escavados na região de estudo constitui importante subsídio para desenvolver o mercado local, expandir o consumo de peixes e aumentar a geração de emprego e renda. Os critérios da paisagem física utilizados na análise espacial deste estudo mostram-se capazes de indicar a adequação das terras para o desenvolvimento da piscicultura na região.

Os resultados indicaram que mais de 80% das terras da região são consideradas aptas para o desenvolvimento da piscicultura, sendo as áreas “totalmente adequadas” um pouco inferiores as áreas consideradas “adequadas”. Já as áreas que apresentaram algum tipo de restrição a essa atividade, nunca apresentaram taxas individuais superiores a 11% do total do território em questão.

Os municípios que apresentaram as maiores taxas de áreas aptas para a implantação de empreendimentos de piscicultura na região de estudo foram Castanhal, Santo Antônio do Tauá e Inhangapi. Em contrapartida, os municípios de Bujaru e Santa Isabel do Pará apresentaram comparativamente as menores taxas de adequação à essa atividade.

Os resultados evidenciam que a região de estudo apresenta grande potencial para alcançar produções de pescado bem mais elevadas que as atuais. Nessa avaliação deve-se também considerar que esse território está situado próximo da Região Metropolitana de Belém e de alguns municípios que contribuem na logística dos insumos, materiais e tecnologias, fortalecendo assim a cadeia produtiva do pescado local.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pelo apoio institucional para o desenvolvimento de seu Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Pesca.

Referências

- Barcellos, L. J. G. 2022. Manual de boas práticas na criação de peixes de cultivo. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 171.
- Boyd, C. E., McNevin, A.A e Davis, R. P. 2022 A contribuição da pesca e da aquicultura para o fornecimento global de proteínas. Food Security 14, 805-827.

- Brabo, M. F., Pereira, L. F. S., Ferreira, L. D. A., Costa, J. W. P., Campelo, D. A. V., Veras, V. G. 2016. A cadeia produtiva da aquicultura no nordeste paraense. *Informações econômicas* 46, 1-11.
- Brabo, M. F., Dias, B. C. B., Santos, L. D., Ferreira, L. D. A., Veras, G. C., Chaves, R. A. 2014. Competitividade da cadeia produtiva da piscicultura no nordeste paraense sob a perspectiva dos extensionistas rurais 44, 1.
- Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., de Pascale, D. 2021. Fish waste: from problem to valuable resource. *Marine Drugs* 19, 116.
- Depieve, D. R., Maggi, M. F., Mercante, E., Francisco, H. R., Oliveira, D. de Deus., Junior, O. J. L. 2023. Uso de geotecnologias na seleção de locais de aquicultura: fatores de adequação e restrições para produção em tanques escavados no solo. *Latin American Journal of Aquatic Research* 51, 2.
- Falconer, L., Middelboe, A. I., Haas, H., Ross, L. G., Telfer, T. C. 2019. Use of geographic information systems for aquaculture and recommendations for development of spatial tools. *Reviews in Aquaculture* 12, 664-677.
- Falconer, L., Telfer, T. C e Ross, L. G. 2016. Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. *Journal of Environmental management* 181, 791-804.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, 2019. Challenges and opportunities in a global world.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura.
- Francisco, H. R., Corrêia, F. A e Feiden, A. 2019. Classification of areas suitable for fish farming using geotechnology and multi-criteria analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8, 394.
- Hossain, M. S., Chowdhury, S. R., Das, N. G., Rahaman, M. M. 2007. Multicriteria evaluation approach to GIS based land suitability classification for tilapia farming in Bangladesh. *Aquaculture International*, 15, 425-443.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: 03 de maio de 2020.
- Lepsch, I. F., Bellinazzi Jr, R., Bertolini, D e Espíndola, C. 1983. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.
- Oliveira, P. N. 2000. Engenharia para aquicultura. UFPE, Recife, 1999.
- Ono, E. A e Kubitzka, F. 2002. Construção de viveiros e estruturas hidráulicas. *Panorama da Aquicultura* 12, 9.
- PEIXES BR. Associação Brasileira da Piscicultura, 2023. Anuário Brasileiro da Piscicultura.
- Ramos, A. J. R., João Soares, A. C., Costa, B. G. B. 2021. Geotecnologias aplicadas no estudo de potencialidade para implantação de empreendimentos aquícolas marinhos: Um estudo de caso na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 1-18.
- Ribeiro, F. O. 2022. O uso do MapBiomias na análise de perda de vegetação natural e apoio a legislação florestal atual em Bragança, Pará. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 10, 18.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48, 9-26.
- Sartori, A.A.C.; Silva, R.F.B.; Zimback, C.R. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore*, 36, 1079-1090, 2012.
- Volcker, C e Scott, P. C. 2009. SIG e sensoriamento remoto para a determinação potencial aquicultura no baixo São João – RJ. *Sistemas e Gestão* 3.
- Von Thenen, M., Maar, M., Hansen, S. H., Friedland, R e Schiele, S. K. 2020. Aplicação de um modelo combinado geoespacial e à escala agrícola para identificar locais adequados para criação de mexilhões. *Marine Pollution Bulletin* 156, 1-14.
- Ximenes, L. F., Vidal, M. F. 2023. Pesca e Aquicultura: Piscicultura.