

Uso de dados de domínio público e Sistema de Informações Geográficas - SIG para modelos simples de avaliação de potencial aquícola: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, Argélia.

Phillip Conrad Scott¹, Marco Aurélio Rotta², Luiz Fernando de Novaes Vianna³

¹Universidade Santa Úrsula (In Memoriam)

²Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul - SEAPDR-DDPA.
Avenida Getúlio Vargas, 1384, Menino Deus, Porto Alegre, RS – Brasil – CEP 90150-004.
marco-rota@agricultura.rs.gov.br

³Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri.
Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Florianópolis, SC – Brasil – CEP 88034-901.
vianna@epagri.sc.gov.br

RESUMO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vêm há tempos se apresentando como ferramenta útil para o desenvolvimento da aquicultura e para a administração pública. Este trabalho apresenta um estudo aplicado de SIG, utilizando bases de dados livres e de domínio público. Uma discussão é apresentada com a finalidade de colocar em evidência as vantagens e limitações da utilização da ferramenta para o desenvolvimento da aquicultura. Este trabalho demonstra como o uso de um modelo simples e de baixo custo para seleção de sítios para aquicultura, pode auxiliar na realização da determinação de áreas potenciais para a aquicultura, bem como estimar a capacidade de produção aquícola. A área escolhida para o estudo foi a bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, no Norte na Argélia. A principal motivação para o trabalho veio da intenção do governo Argelino em constituir um plano governamental. O uso aquícola de cerca de 1% da área considerada climaticamente e fisiograficamente apta para aquicultura na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel pode representar uma produção anual entre 4.865 t e 23.473 t de pescado, dependendo do nível tecnológico adotado. Essa quantidade representa o atendimento de 24,3% a 117,4% da meta de 20.000 toneladas anuais planejada pelo governo Argelino para a produção aquícola continental.

Palavras-chave: GIS, SIG, aquicultura, geoprocessamento, seleção de sítios

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are useful tools for the development of aquaculture and public administration. In this work, a GIS evaluation was made, using free and public domain databases and a discussion to highlight the advantages and limitations of using this approach to develop aquaculture. The results demonstrated how the use of a simple and low-cost model for selecting aquaculture sites could assist in determining potential areas for aquaculture and estimate aquaculture production capacity. The study area is the watershed of the river Nahr Ouassel in the north of Algeria. The work's main motivation came from the Algerian government's intention to constitute an aquaculture government plan. The use of 1% of the area considered climatically and physiographically suitable for aquaculture in the watershed of the river Nahr Ouassel may represent an annual production between 4,865 t and 23,473 tons of

fish, depending on the technological level adopted. This amount represents 24.3% to 117.4% of the 20,000 tons a year planned by the Algerian government for continental aquaculture production.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informação Geográficas (SIG) vem há tempos se apresentando como ferramenta útil para o desenvolvimento da aquicultura e para a administração pública (Nath et al., 2000). Com esta ferramenta é possível determinar o potencial produtivo de diferentes áreas, conforme suas características físicas, biológicas e de infraestrutura, sendo, portanto, essencial para indicar as melhores zonas a serem utilizadas (Kapetsky e Aguilar-Manjarrez, 2007; Aguilar-Manjarrez et al., 2010). As decisões que concernem ao desenvolvimento de uma zona ou região apropriada, identificada num estudo de SIG podem, posteriormente, sofrer ajustes e considerações suplementares conforme o detalhamento/escala dos dados disponíveis e o contexto da situação econômica, geopolítica ou financeira da região em análise, adaptando o estudo à condição presente (Nath et al., 2000).

Estudos sobre diversas espécies de peixes, crustáceos e moluscos em água doce ou marinha já foram realizados, alguns deles focando nos continentes menos desenvolvidos (FAO, 1995; Kapetsky e Nath, 1997; Aguilar-Manjarrez e Nath, 1998; FAO, 2015). Sobre a África Subsaariana, a FAO publicou um trabalho demonstrando que é possível avaliar o potencial aquícola de países em desenvolvimento através de modelos simples utilizando dados de domínio público (Jeness et al., 2007).

Este trabalho apresenta um estudo aplicado de SIG, utilizando bases de dados livres e de domínio público, que segundo Gewin (2016) devem ser valorizadas e estimuladas para concretização de uma “ciência aberta”, conduzida por uma filosofia de compartilhamento de softwares e dados, como também uma discussão que coloca em evidência as vantagens e limitações da utilização deste tipo de ferramenta para o desenvolvimento da aquicultura. O trabalho busca demonstrar como o uso de um modelo simples e de baixo custo para seleção de sítios para aquicultura, baseado em dados disponíveis na internet, pode auxiliar na realização da determinação de áreas potenciais para a aquicultura, bem como estimar a capacidade de produção aquícola.

A área escolhida para o estudo foi a bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, no Norte na Argélia, por ser um país com carência de dados georreferenciados e poucos estudos de planejamento espacial aplicado à aquicultura. A história da aquicultura na Argélia remonta aos anos de 1920, quando os primeiros estudos foram feitos para definir as melhores técnicas de cultivo de moluscos na zona costeira e de peixes de água doce no continente (FAO, 1995). De maneira geral, ocorrem poucas espécies de peixes, normalmente de clima temperado, principalmente as diversas espécies de carpas introduzidas no país ao longo de décadas. A partir do final da década de 1930 a truta (*Salmo gairdineri*) também passou a ser pesquisada como espécie com potencial para cultivo.

No início da década de 1990, foi criada a Agência Nacional para o Desenvolvimento da Pesca (ANDP), responsável pela implementação da política governamental de desenvolvimento dos setores da pesca e da aquicultura. De acordo com o plano nacional de aquicultura do país (MPRH, 2014), o cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e bagre africano (*Clarias gariepinus*) têm avançado, tornando-se mais uma opção para os produtores, como também a utilização das diferentes espécies de carpas para criação em grandes barragens, historicamente as mais utilizadas

na piscicultura continental neste país (FAO, 2014). Esse plano pretende aumentar significativamente a produção aquícola do país para atender à demanda por proteína animal oriunda do aumento na população e esgotamento dos estoques pesqueiros, tradicionalmente explorados no sudoeste do Mediterrâneo. Mais recentemente, alguns trabalhos de SIG aplicado à maricultura (Laama e Bachari, 2019; Laama et al., 2020) e modelagem hidrológica para qualidade de água para bacias hidrográficas (Merah et al., 2020) foram realizados na Argélia, mas o país ainda carece de conhecimento acerca do potencial do uso de dados abertos e SIG no planejamento aquícola.

O objetivo desse estudo foi fazer uma avaliação, considerando o potencial edafoclimático e costeiro para a aquíicultura, e selecionar os sítios com maior aptidão para o cultivo das principais espécies com interesse e capacidade de produção comercial na Argélia, utilizando dados abertos e de domínio público. Buscou-se também discutir os alcances e as limitações da avaliação de potencial edafoclimático de acordo com os dados disponíveis. Além disso, foi feita uma estimativa de produção anual, considerando o uso parcial das áreas com aptidão, para avaliar se há capacidade produtiva para atender às demandas planejadas pelo governo da Argélia (MPRH, 2014).

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos se estende entre as latitudes 36.0244° e 36.7171° e as longitudes 0.0771° e 4.0399° , abrangendo a bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, no Norte na Argélia, com aproximadamente 64 mil km^2 (Figura 1). No sentido norte-sul, a área de estudo compreende desde a capital Argel (36.753577° 3.062525°) até a vila de Aflou (34.1076° , 2.0980°).

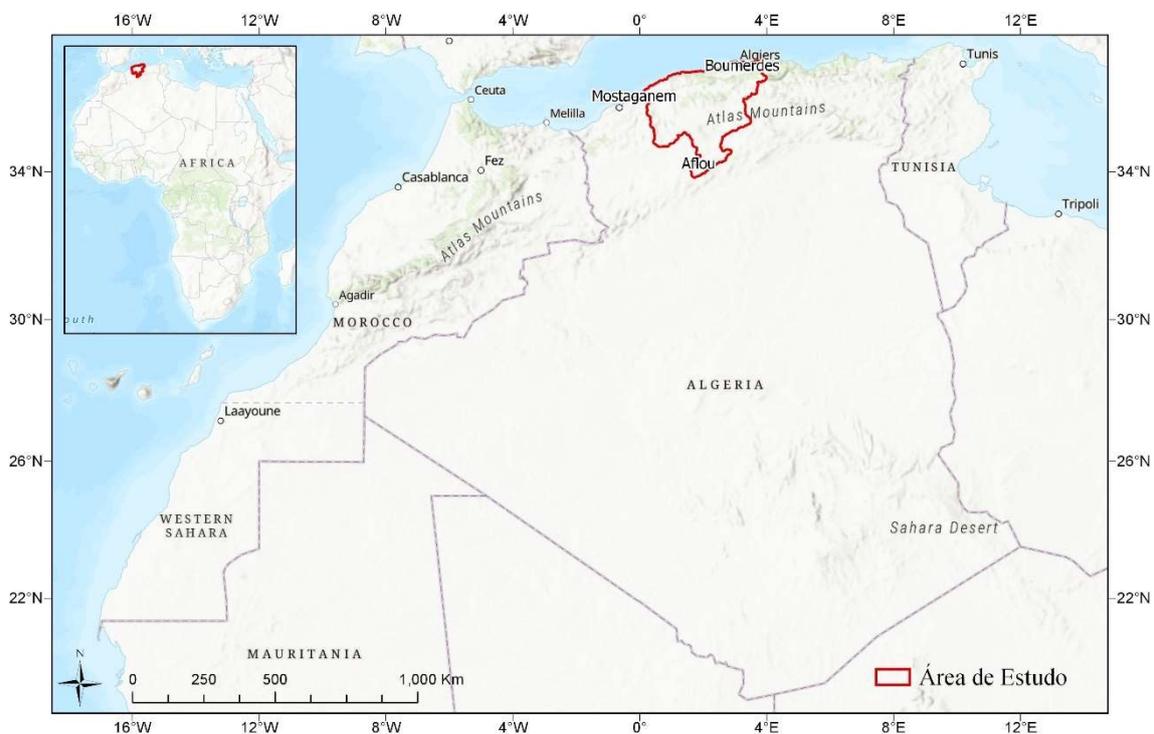


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, área de estudo para o SIG da aquíicultura na Argélia.

BASE DE DADOS

A identificação das espécies cultivadas na Argélia foi feita através de uma pesquisa histórica, baseada tanto nos documentos existentes (FAO, 1995; MPRH, 2014) quanto nas informações disponibilizadas pessoalmente, através de conferências e por e-mail, pelos pesquisadores e gestores naquele país (citados nos agradecimentos).

A base de dados foi obtida de fontes de dados geográficos abertos, em formatos, resoluções e escalas diversas (Tabela 1). Os dados vetoriais e as tabelas foram organizados em um geodatabase (ESRI, 2020a) e os arquivos matriciais (raster) foram convertidos para o formato geotif. O sistema de referência adotado foi o EPSG 4326, com coordenadas geográficas em graus decimais e Datum WGS-84.

Tabela 1 – Fonte dos dados, formato, resolução e escala.

Dado	Fonte	Formato	Resolução / escala
Modelo Digital de Elevação - MDE	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER (NASA, 2001) - https://search.earthdata.nasa.gov/search	GeoTif	30m
Temperatura e precipitação média anual	WorldClim - https://www.worldclim.org	GeoTif	750m
Hidrografia	Gerada a partir do MDE utilizando as ferramentas de análise hidrográfica do ArcGis (ESRI, 2020b)	Geodatabas e	1:100.000

Modelo de seleção de sítios

O modelo de seleção de sítios foi aplicado considerando duas escalas geográficas, uma relacionada aos fatores climáticos e à sua distribuição espacial mais abrangente e outra avaliando aspectos mais detalhados do relevo e do acesso aos recursos hídricos. Também foram considerados dois grupos de peixes para a piscicultura, as espécies de águas tépidas (águas com temperatura entre 16 e 36 °C) e de água fria (águas com temperatura abaixo de 16 °C) que se mostraram potenciais para a região (Tabela 2) (MPRH, 2014; FAO, 2014; Kara et al., 2018).

Tabela 2 – Espécies de peixe de água doce mais cultivadas na Algeria (FAO, 2014, MPRH, 2014), seu ambiente de cultivo e produtividades em sistemas com baixo e alto nível tecnológico.

Nome comum	Espécie	Ambiente	Produtividade estimada com baixo nível tecnológico (t/ha/ano)	Produtividade estimada com alto nível tecnológico (t/ha/ano)
------------	---------	----------	---	--

Bagre Africano	<i>Clarias gariepinus</i>	águas tépidas	15	75
Tilápia Nilótica	<i>Oreochromis niloticus</i>	águas tépidas	10	50
Carpa comum	<i>Cyprinus carpio</i>	águas tépidas	5	20
Carpa capim	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	águas tépidas	5	20
Carpa cabeçuda	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	águas tépidas	5	20
Carpa prateada	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	águas tépidas	5	20
Truta	<i>Salmo gairdineri</i>	águas frias	5	15

Obs.: os ambientes e produtividades estimadas foram estabelecidas com base na experiência de pesquisadores argelinos.

As espécies, produtividades e ambientes foram definidos pelos autores juntamente com os pesquisadores Chahinez Laama (comunicação pessoal)¹ e Jérôme Lazard (comunicação pessoal)², que atuam na Argélia e possuem grande conhecimento da aquicultura no país. Também foram considerados os principais fatores e critérios utilizados rotineiramente em trabalhos dessa natureza (Vianna et al., 2016), bem como a disponibilidade dos dados em escala compatível com a área de estudo.

O modelo foi implementado no ArcGis Pro v.2.1, utilizando os arquivos matriciais com pixel de saída de 30 m. Cada fator e cada critério foi ponderado e os mapas dos fatores foram integrados através de álgebra de mapas, seguindo o método adotado por Vianna e Bonetti (2018).

Fatores e critérios do modelo

Dentre os inúmeros fatores ambientais utilizados em modelos de seleção de sítios para aquicultura interior, os mais utilizados estão relacionados à disponibilidade e à qualidade da água, ao clima, à fisiografia e à hidrografia (Vianna et al., 2016). Esses fatores, além de muito utilizadas nos modelos, também compõem os principais critérios de seleção de áreas para aquicultura. Devido à importância dada a esses fatores e à disponibilidade dos dados livres e de domínio público, o modelo para uma primeira avaliação do potencial aquícola para a bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, utilizou os fatores e critérios ilustrados na Figura 2 e descritos a seguir.

1 Reunião realizada pelo biólogo Dr. Philip Scott com a Dra. Chahinez Laama durante a 1ª Conferência Internacional em Aquicultura ocorrido na Argélia em janeiro de 2020.

2 Reunião realizada pelo biólogo Dr. Philip Scott com a Dr. Jérôme Lazard durante a 1ª Conferência Internacional em Aquicultura ocorrido na Argélia em janeiro de 2020.

Realizado

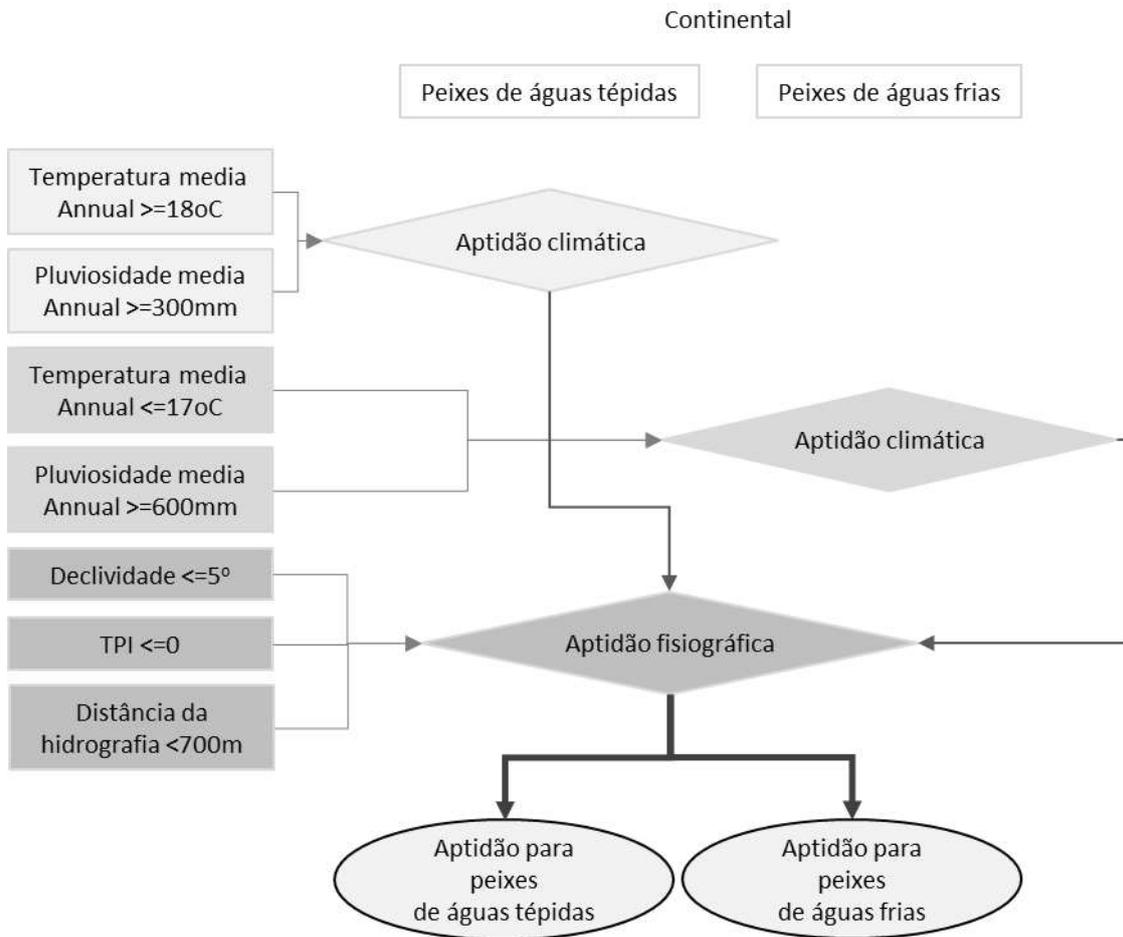


Figura 2: Fluxograma do modelo de seleção de sítios para aquicultura na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, utilizando fatores e critérios para cultivo de peixes continentais.

a) Temperatura média anual: Para os peixes de clima tropical e subtropical como a tilápia, a carpa e o bagre africano, foram consideradas aptas todas as áreas onde a temperatura média anual for igual ou superior a 18 °C. Para peixes de água fria, como a truta, as áreas consideradas aptas devem apresentar temperatura média anual igual ou inferior a 17 °C (Woynarovich et al., 2011).

b) Disponibilidade hídrica na forma de precipitação anual: Segundo Aguilar-Manjarrez e Nath (1998) valores de precipitação média anual igual ou superior a 700 mm são considerados ideais para criação de tilápias e bagres, enquanto para trutas, a precipitação média anual deve ser igual ou superior a 1.000 mm. Porém a realidade climática da região de estudo não apresenta essa condição, apesar da experiência local demonstrar que, com o manejo correto dos recursos hídricos, há viabilidade para aquicultura. Desta forma, as áreas com valor de precipitação média anual igual ou superior a 300 mm foram consideradas aptas para criação de tilápias e bagres, enquanto para trutas, a aptidão foi considerada apenas para as áreas com precipitação média anual

igual ou superior a 600 mm. Esses valores foram definidos pela equipe de pesquisadores e gestores locais, em parceria com os autores desse artigo.

c) Declividade: A aquicultura interior é uma atividade que pode ser desenvolvida em reservatórios hídricos naturais ou artificiais. Esses reservatórios necessitam de desníveis naturais do relevo para captação e devolução hídrica sem uso de sistemas mecânicos, porém devem ser construídos e mantidos, essencialmente, em terrenos planos. Com isso, as áreas preferenciais para esses reservatórios são aquelas onde a declividade é inferior a 5 graus (8,7% ou 1:0,087). A declividade foi calculada a partir do MDE, utilizando a ferramenta *Slope* do ArcGis 10.6 (ESRI, 2020c).

d) Índice Topográfico: Além da declividade, é importante avaliar a posição no terreno para construção dos viveiros. Essa posição é relativa ao relevo do entorno e considera aspectos geomorfológicos. Os reservatórios devem estar posicionados, preferencialmente, nos vales e encostas superiores, com valores de índice topográfico menores ou iguais a zero. O índice topográfico foi calculado a partir do MDE, segundo o método proposto por Tagil & Jenness (2008).

e) Disponibilidade hídrica através da proximidade dos cursos d'água: Quanto mais próximo de um curso d'água, melhor a aptidão, considerando a ordem do curso (Strahler, 1952). Cursos d'água de primeira ordem são aqueles localizados nas partes altas das bacias hidrográficas. Costumam apresentar menor volume hídrico e são responsáveis por compor as nascentes dos rios principais. O encontro de dois cursos d'água de mesma ordem gera um curso d'água de ordem superior em um nível, e assim sucessivamente.

A bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel apresenta rios de ordem 1 a 7. Foram consideradas áreas aptas para aquicultura aquelas que correspondem à distância, em metros, de 100 vezes a ordem do curso d'água. Para cursos de 1ª ordem as áreas aptas estão a, no máximo, 100 m do curso d'água, enquanto para os rios de 7ª ordem essa distância pode ser de até 700 m. As áreas no entorno dos cursos d'água foram calculadas através da ferramenta *buffer* do ArcGis 10.6 (ESRI, 2020d).

Estimativa de produção anual

A estimativa de produção anual foi calculada para as principais espécies de peixes utilizadas para cultivo na Argélia (Tabela 2). Para calcular a estimativa de produção foram consideradas a produtividade de cada espécie (para sistemas com baixo e alto nível tecnológico) e a área apta para a atividade:

$$E_p = P_r \times A$$

Onde:

E_p = Estimativa de produção anual (t/ano)

P_r = Produtividade anual (t/ha/ano)

A = Área apta para a aquicultura (ha)

Segundo Ahmed (1992), os cultivos de peixes considerados comerciais ocupam apenas 1% dos corpos d'água em Bangladesh, um dos países com histórico crescente na

aquicultura mundial (FAO, 2005-2021). Com isso, a área utilizada para o cálculo da estimativa de produção anual correspondeu a 1% da área considerada apta para aquicultura de peixes de águas tépidas e 0.1% da área apta para truta, que é um peixe que exige mais investimentos e mais tecnologia na sua produção. Os resultados da estimativa da produção anual foram comparados com a previsão de produção efetuada pelo MPRH (2014) no programa de desenvolvimento da aquicultura na Argélia, o qual prevê a criação de 10.000 empregos diretos e a produção de 100.000 t/ano. Desta produção, 80.000 t/ano (80%) deverão vir da maricultura, em especial do cultivo em tanques-redes, e 20.000 t/ano (20%) do cultivo continental, com espécies de peixe de água doce.

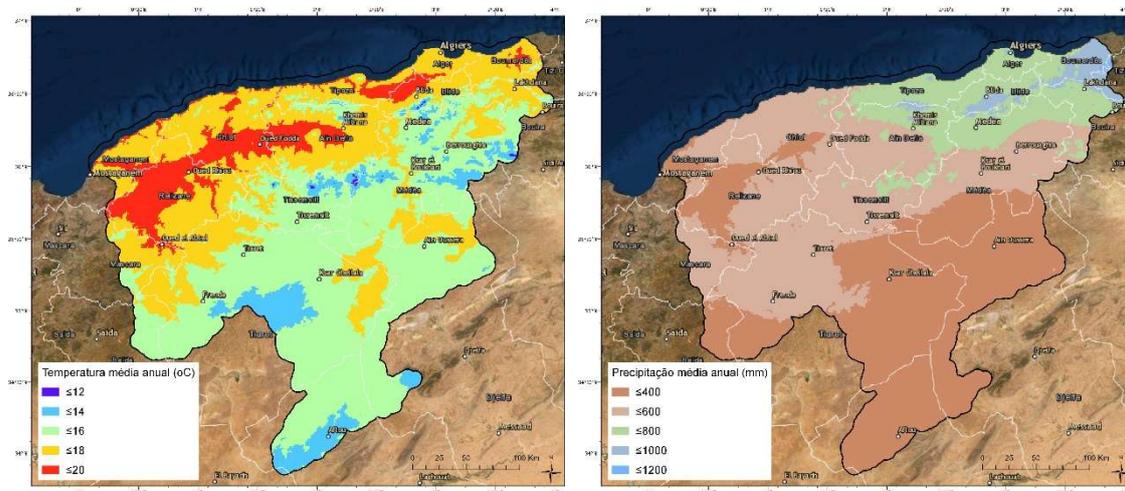
RESULTADOS

Aptidão para aquicultura interior

A bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel possui uma área de 64.360 km² (Figura 1). Em termos climáticos sua temperatura média anual varia entre 11°C, nos picos montanhosos mais altos e 19°C nos vales de menor altitude (Figura 3; a, c). Os maiores índices pluviométricos concentram-se no litoral e nas montanhas orientais, a nordeste, enquanto o interior é muito seco (Figura 3, b).

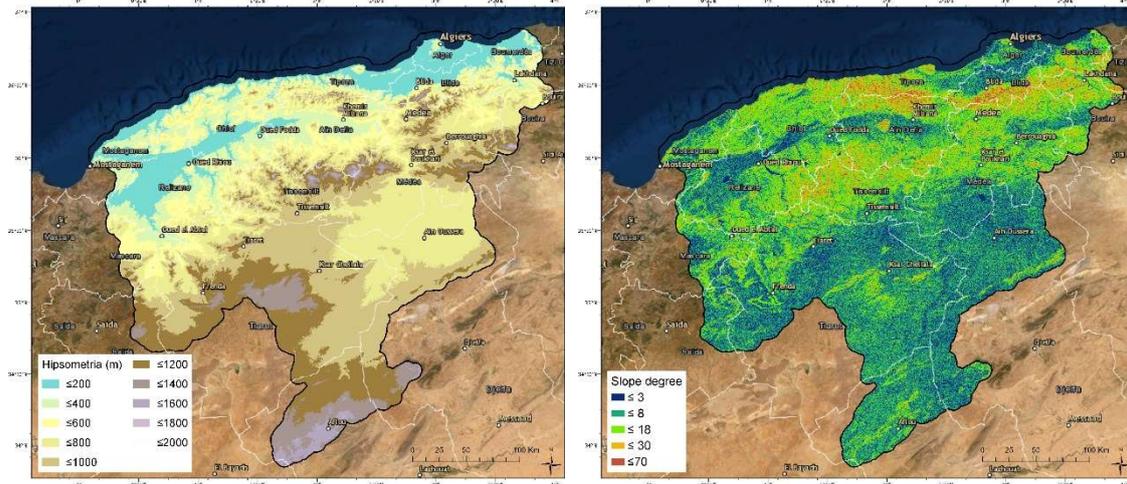
O relevo da bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel é heterogêneo na porção litorânea e mediana e mais homogêneo no interior (Figura 3; c, d, e). Sua altitude varia entre o nível do mar e 1.952 m (Figura 3, c) e as áreas de maior declividade e maior variabilidade topográfica são a cadeia montanhosa que percorre a parte litorânea no sentido leste-oeste, abrangendo as localidades de Medea e Khemis Miliana, e a cadeia montanhosa interior, que corta Tissemsilt. A região desértica do interior é formada por um planalto homogêneo, com altitudes superiores a 600 m, baixa declividade e pouca variação fisiográfica.

A hidrografia, apesar de densa e bem distribuída pela bacia (Figura 3, f), é, em sua maioria, intermitente e associada ao regime de chuvas. Os rios perenes estão localizados no litoral, nas áreas onde a precipitação média anual é superior a 800 mm (Chabur et al., 2018).



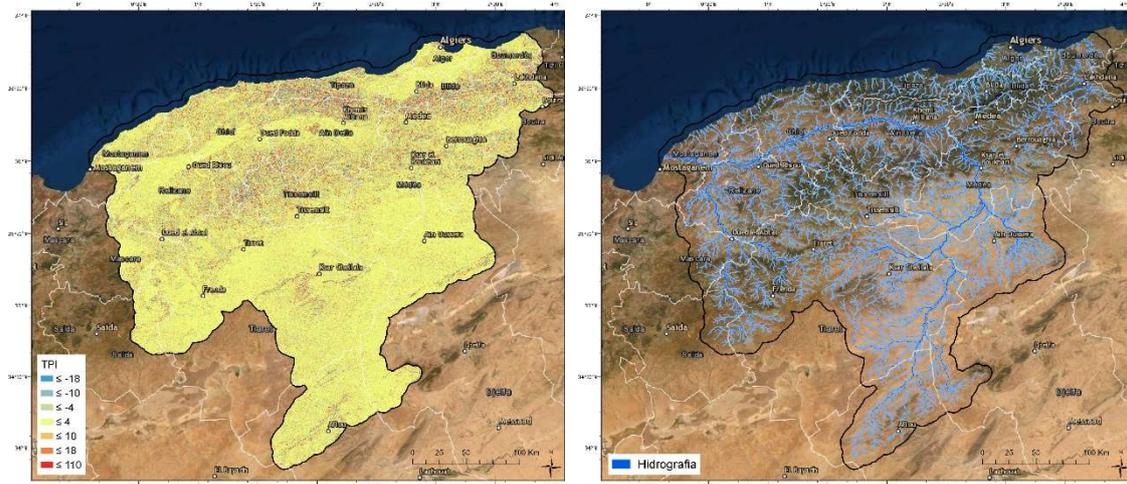
a) Temperatura média anual (°C)

b) Precipitação média anual (mm)



c) Hipsometria (m)

d) Declividade (graus)



e) Índice de Posição Topográfica (TPI)

f) Hidrografia

Figura 3. Características climáticas, fisiográficas e hidrografia da bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel.

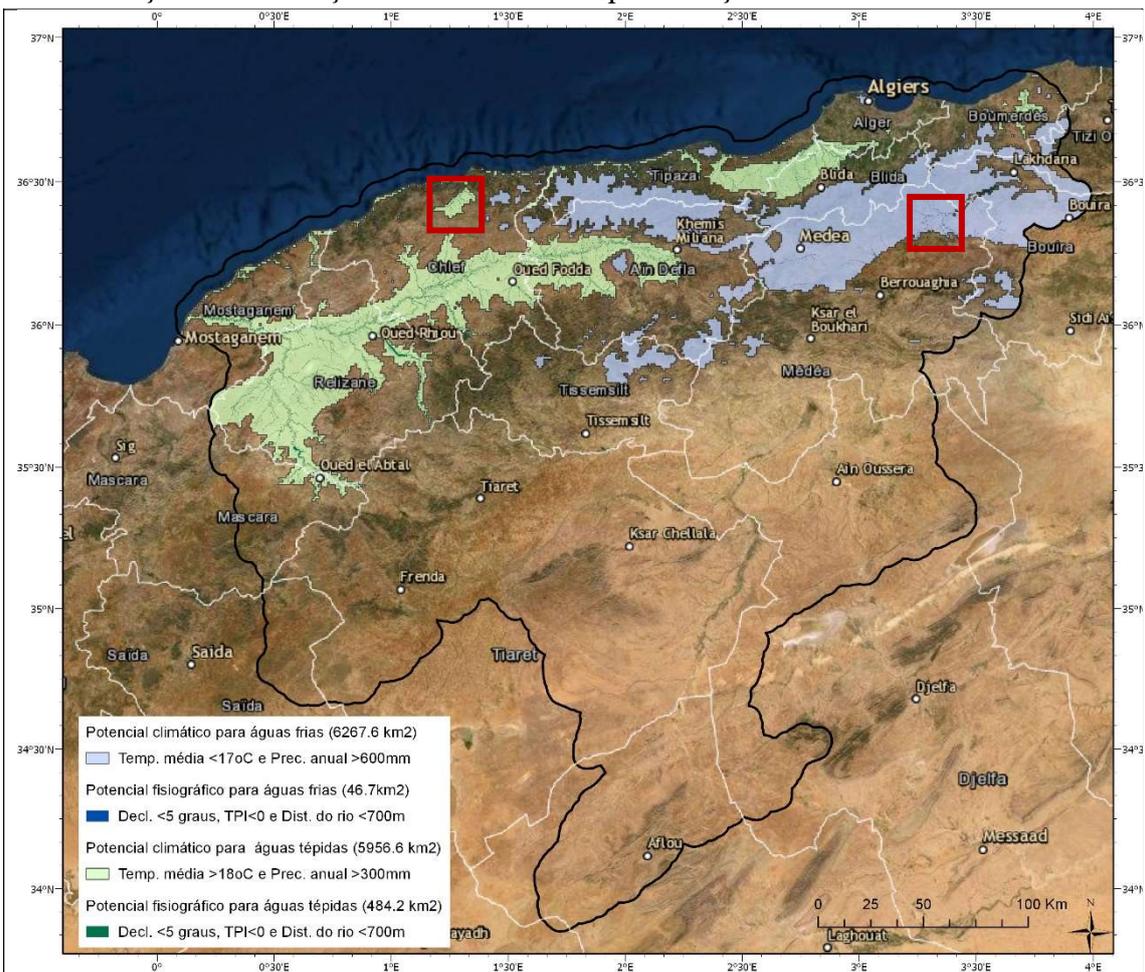
Mesmo diante das limitações hídricas, 9,25% de área possui aptidão climática para o cultivo de peixes de águas tépidas e 9,7% da área apresenta aptidão climática para peixes de água fria (Figura 4). Essa aptidão também é dependente das tecnologias adotadas nos cultivos (MPRH, 2014), principalmente aquelas relacionadas à gestão hídrica.

Na parte ocidental observa-se uma grande área contígua, apta a projetos contemplando peixes cuja exigência de temperatura ambiente seja maior do 18 °C, adequado para o bagre africano, tilápia e carpas (FAO, 2020abce; Coche e Edwards, 1990). Algumas áreas menores e desconectadas umas das outras também podem ser encontradas próximas à zona costeira. Nessas áreas a precipitação média anual é superior a 300 mm (Figura 4, a).

Na região montanhosa a nordeste da bacia, uma área de quase 6.300 km² foi classificada como apta para projetos contemplando piscicultura de peixes de águas frias,

com temperatura média anual inferior a 17 °C, que é adequado para a truta (Woynarovich et al., 2011), e precipitação média anual superior a 600 mm (Figura 4, a).

Ambas as áreas identificadas com potencial climático possuem relevo heterogêneo e o acesso aos recursos hídricos pode ser um fator limitante em função dos baixos índices pluviométricos. Desta forma, uma análise da paisagem considerando a hidrografia e as métricas de relevo, permitiu detalhar áreas de vales onde tanto a proximidade com o leito dos rios quanto a baixa declividade favorecem o acesso à água e a construção e manutenção dos reservatórios para criação.



a) Potencial climático e fisiográfico para piscicultura continental. Os quadrados vermelhos representam as áreas em detalhe nas figuras b e c.

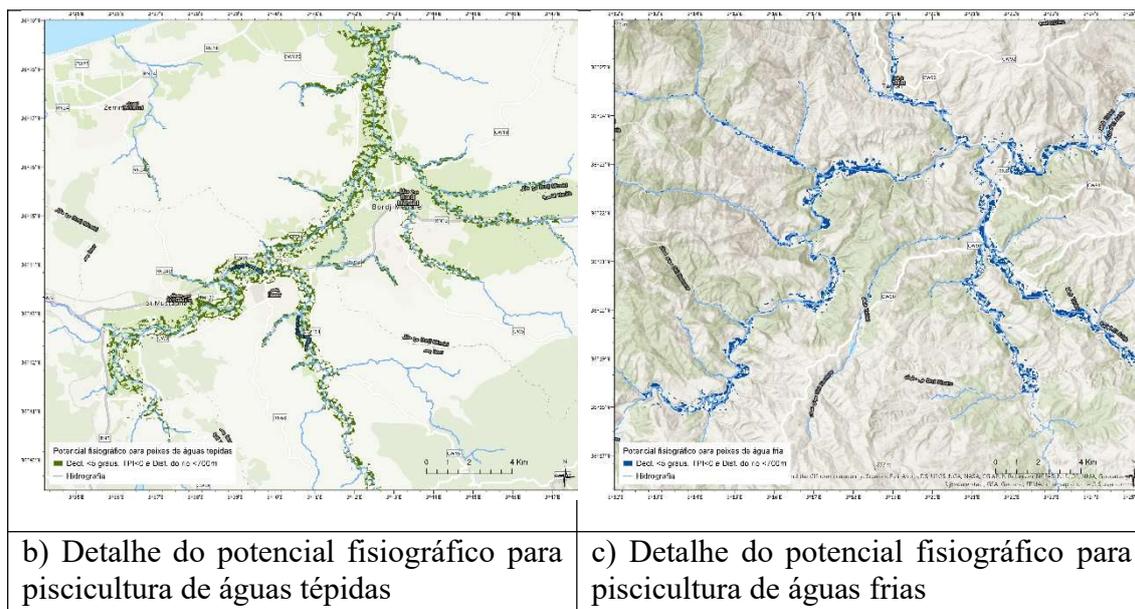


Figura 4. Potencial climático e fisiográfico para piscicultura continental na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel.

As áreas climaticamente mais aptas para a piscicultura de águas tépidas (Figura 4, a) apresentam relevo menos acidentado pois estão localizadas na parte mais baixa da bacia (Figura 3; c, d; e). Com isso, seu potencial fisiográfico está mais associado à proximidade dos rios (Figura 4, b). A área total com aptidão climática e fisiográfica para piscicultura de águas tépidas é de 484 km².

As áreas climaticamente aptas para a piscicultura de águas frias estão nas regiões montanhosas, portanto a declividade e a posição topográfica são tão importantes quanto o acesso aos rios (Figura 4, c). Com isso, mesmo em uma região climaticamente abrangente, existem restrições de espaço associadas à fisiografia. A área total com aptidão climática e fisiográfica para piscicultura de águas frias é de 46,7 km².

Tendo por base as áreas disponíveis para aquicultura na Argélia e utilizando produtividades médias para as diferentes espécies com potencial para o país, foi possível estimar a produção. Para tal, considerou-se o uso efetivo de 1% das áreas aptas como área de lâmina d'água para a piscicultura para os cultivos de tilápia, carpas e bagre africano e de 0,1% como área de lâmina d'água para criação de truta (Ahmed, 1992).

Desta forma, estão apresentadas as ordens de grandeza para a produção na área de estudo em duas situações, uma com baixo nível tecnológico (Tabela 3) e outra com alto nível tecnológico (Tabela 4) (Woynarovich et al., 2011; FAO, 2020abcde).

Tabela 3 – Potencial aquícola continental na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, Argélia, utilizando baixo nível tecnológico.

Espécie	Área (km ²)	Área (ha)	Produtividade com BAIXO nível tecnológico (t/ha/ano)	Área estimada como espelho d'água (ha)	Produção estimada (t/ano)	Porcentagem sobre a meta de 20.000 t/ano
Águas interiores	530,9					
águas tépidas	484,2					
Bagre africano	161,4	16.140	15	161,4	2.421,0	12,11%
Tilápia	161,4	16.140	10	161,4	1.614,0	8,07%
Carpas	161,4	16.140	5	161,4	807,0	4,04%
águas frias	46,7					
Truta	46,7	4.670	5	4,7	23,4	0,12%
Total	530,9	53.090		488,9	4.865,4	24,3%

Tabela 4 – Potencial aquícola continental na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, Argélia, utilizando alto nível tecnológico.

Espécie	Área (km ²)	Área (ha)	Produtividade com ALTO nível tecnológico (t/ha/ano)	Área estimada como espelho d'água (ha)	Produção estimada (t/ano)	Porcentagem sobre a meta de 20.000 t/ano
Águas interiores	530,9					
águas tépidas	484,2					
Bagre africano	161,4	16.140	75	161,4	12.105,0	60,53%
Tilápia	161,4	16.140	50	161,4	8.070,0	40,35%
Carpas	161,4	16.140	20	161,4	3.228,0	16,14%
águas frias	46,7	4.670		46,7		0,00%
Truta	46,7	4.670	15	4,7	70,1	0,35%
Total	530,9	57.760		535,6	23.473,1	117,4%

O uso aquícola de cerca de 1% da área considerada climaticamente e fisiograficamente apta para aquicultura na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel pode representar uma produção anual entre 4.865 t e 23.473 t de pescado, dependendo do nível tecnológico adotado, representando respectivamente 24,3% e 117,4% do total estimado no plano nacional de aquicultura do país (MPRH, 2014), que é de 20 mil t anuais de produtos da aquicultura continental.

DISCUSSÃO

Em uma pesquisa abrangendo a atividade aquícola no norte da África nos últimos 20 anos, Kara et al. (2016) concluíram que o desenvolvimento do setor está sempre ligado à conjunção de condições favoráveis específicas e conhecidas (mercado,

meio ambiente, sistemas agrícolas, espécies e sistemas de criação) e a uma massa crítica de tomadores de decisão responsivos. Os autores citam que as iniciativas dos governos de alguns países na criação de instituições e mecanismos jurídicos, econômicos e tecnológicos para fomentar a atividade vêm acelerando o desenvolvimento da aquicultura.

Os estudos de potencial e a seleção de áreas com aptidão aquícola através de SIG são instrumentos de gestão que favorecem a definição de prioridades em termos de projetos, considerando a sua capacidade de análise e síntese espacial. Neste estudo foram utilizados dados de domínio público para avaliar o potencial da bacia hidrográfica Nahr Ouassel para produção aquícola. Essa bacia foi escolhida por estar próxima ao maior mercado consumidor e ao principal porto para exportações da Argélia, localizado em Argel.

A escassez de dados geográficos de domínio público em escalas maiores e a dificuldade de acesso aos dados existentes no país limitaram a análise a um estudo básico, considerando alguns aspectos climáticos, fisiográficos e hidrográficos. Além disso, diante da complexidade que envolve a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica e da grande quantidade de tecnologias de cultivo existentes e considerando a realidade da produção comercial em outros países (Ahmed, 1992), optou-se por considerar, para fim de estimativa de produção, o uso efetivo de 1% da área considerada apta. Mesmo com a restrição da análise, o resultado permitiu estimar que a capacidade produtiva de 1% das áreas consideradas aptas só na bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel, pode atender a grande parte (24,3%) da produção planejada pelo governo da Argélia de 20.000 toneladas anuais de pescados oriundos da aquicultura continental (MPRH, 2014), mesmo utilizando baixo nível tecnológico. Com o uso de alto nível, este atendimento pode alcançar mais de 100% do valor inicialmente planejado. Estas estimativas mostram que a bacia hidrográfica do rio Nahr Ouassel possui grande potencial para a aquicultura quando levado em consideração as metas de produção estabelecidas no plano nacional de aquicultura.

As limitações das previsões de produção das Tabelas 3 e 4 estão associadas não só aos aspectos geográficos analisados através do SIG. Particularmente os peixes de água doce, como tilápia, bagre africano e carpas, possuem inúmeros sistemas de criação com níveis tecnológicos e produtividades bem diferentes, mesmo nos sistemas mais intensivos. Logo, a escolha de qual sistema a ser utilizado (os quais são muito diversos) dependerá da capacidade de operar tecnologias distintas, tanto nos sistemas menos intensivos como nos mais intensivos, como também de se ter suporte para insumos e equipamentos compatíveis com os níveis tecnológicos escolhidos, principalmente quanto à qualidade da ração e emprego de aeradores (Kumar, 1999; Funge-Smith e Phillips, 2001).

A truta, por precisar de uma maior vazão e água de alta qualidade, teve sua área de estimativa de produção reduzida para 0,1% da área apta. Além disso, por ser uma espécie carnívora, requer um manejo mais acurado e tecnificado, além de necessitar ração de alta qualidade, diretamente relacionado a um fornecedor de ração que possua tecnologia adequada e escala para produzir este insumo com constância e preço compatível.

De forma geral, tendo o Brasil como exemplo, o mais interessante é começar com peixes rústicos e que precisam de rações menos concentradas, organizando a cadeia de suprimentos e o corpo técnico, para então buscar o estabelecimento de espécies mais complexas e sistemas mais tecnificados. Na prática, o que ocorre é um mix desses

sistemas, que com o tempo vão evoluindo e aumentando o emprego da tecnologia conforme a curva de aprendizado dos atores da cadeia produtiva.

Atualmente, a elaboração e construção de projetos de alto nível tecnológico são possíveis em qualquer país ou região, porém vale lembrar que sua repercussão e impacto dentro da cadeia pode ser pontual. A construção do conhecimento para a utilização de tecnologias que permitam maiores produções deve perpassar todos os elos da cadeia produtiva, entre eles os produtores, os técnicos, as instituições de ensino, agências ambientais e de fiscalização, além dos gestores públicos, trazendo desta forma um ganho social mais consistente e permanente, relacionado à atividade e seu desenvolvimento.

Os dados livres e de domínio público hoje disponíveis permitem fazer prospecções em escalas regionais que auxiliam o planejamento da atividade aquícola. No caso da Argélia, ainda existem lacunas a serem preenchidas, principalmente em relação aos dados hidrológicos. Essa carência dificulta o detalhamento da aptidão para a aquicultura, mas não impede que se possa fazer uma avaliação prévia para que se definam áreas prioritárias para detalhamento posterior.

Na ausência de dados de monitoramento hidrológico para vazão, pode-se adotar modelos hidrológicos, como o SWAT (Spruill et al., 2000), para estimar e mapear a disponibilidade hídrica e calcular as curvas-chave das bacias hidrográficas, setorizando-as em sub-bacias e auxiliando na distribuição espacial dos projetos aquícolas.

Além do planejamento estratégico focado em objetivos de produção aquícola, os estudos em SIG devem apresentar uma abordagem ecológica (Ross et al., 2013), considerando os aspectos físicos, ecológicos, de produção e sociais da capacidade de suporte dos ambientes de cultivo.

Embora estudos desse tipo sejam considerados importantes, a cultura do uso de SIG de forma mais disseminada encontra barreiras em níveis nacionais e em suas unidades administrativas regionais. A principal barreira é a carência de dados em escala local, disponibilizados em sites, de fácil acesso para consulta e download. O acesso a esses dados não só incentivaria o desenvolvimento público de sistemas de informações que gerariam mais dados e informações relevantes para todos os setores da sociedade, como favoreceriam os estudos em escalas maiores e com mais detalhamento geográfico.

Os resultados destes estudos são, na sua maior parte, indicações gerais, consequência das diferenças de qualidade e disponibilidade das bases georreferenciadas de dados ambientais e socioeconômicos em relação à escala e à resolução espacial. Ainda assim, quando são superadas essas barreiras, por vezes os resultados acabam não encontrando utilização prática nos gabinetes dos tomadores de decisão ou gestores de políticas públicas, não permitindo seu uso no desenvolvimento da aquicultura, principalmente em países com carência de recursos econômicos e humanos.

CONCLUSÃO

A abordagem utilizada neste estudo permitiu identificar áreas com aptidão para a piscicultura continental de espécies de clima temperado e subtropical. Apesar do mapeamento produzido estar limitado à disponibilidade dos dados geográficos, uma análise inicial do potencial da atividade pode apoiar planejamento estratégico dos órgãos governamentais competentes, bem como o setor empresarial em seus planos de negócios.

A divulgação do uso de dados de domínio público em SIG entre as instituições públicas e privadas poderá estimular a contratação de novos estudos feitos por empresas interessadas em uma visão mais estratégica das áreas para piscicultura, e o setor acadêmico a desenvolver estudos mais refinados capazes de melhor identificar o território apto, a fim de promover a melhor utilização do espaço para esta atividade.

A Argélia possui áreas com potencial edafoclimático e costeiro para aquicultura suficiente para atingir a sua meta de 20.000 toneladas anuais de produtos aquícolas continentais. Porém, a identificação dessas áreas com mais critérios depende de uma base de dados geográficos em escala maior e da definição das tecnologias de cultivo adequadas à realidade social e tecnológica do país.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prof^a. Dra. Chahinez Laama, pelas informações sobre o desenvolvimento aquicultura da Argélia e amíúde colaboração na área de especial de interesse estudada neste ensaio. Ao Prof. Dr. Jérôme Lazard, pelas discussões proficuas sobre a piscicultura continental e sua evolução na região interiorana do país, integração com projetos de irrigação e potencial de desenvolvimento. Aos organizadores da 1ª Conferência Internacional de Aquicultura da Argélia, realizado em janeiro de 2020, em especial a Dra. Sabrina Hidouci da Kasdi Merbah University, pela gentil acolhida em Ourgla.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar-Manjarrez J, Kapetsky J, Soto D. The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. Rome: FAO; 2010. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.

Aguilar-Manjarrez, J, Nath, S. A strategic reassessment of fish farming potential in Africa. Rome: FAO; 1998. CIFA Technical Paper, v.32.

Ahmed, M. Status and potential of aquaculture in small waterbodies (ponds and ditches) in Bangladesh. ICLARM Tech. Rep 1992. 37:36 p.

Chabour N, Mebrouk N, Hassani IH, Upton K, Ó Dochartaigh B, Bellwood-Howard I. Africa Groundwater Atlas: Hydrogeology of Algeria. British Geological Survey. 2018. [acesso em 03 de dezembro de 2020]. Disponível em: http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrogeology_of_Algeria

Coche A, Edwards D. Selected aspects of warmwater fish culture. Rome: FAO; 1990. CIFA Technical Paper, v.32. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em: <http://www.fao.org/3/t8389e/T8389E00.htm#TOC>

ESRI. ArcMap. What is a Geodatabase? [acesso em 30 de novembro de 2020a] Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

ESRI. ArcMap. An overview of the Hydrology toolset [acesso em 30 de novembro de 2020b] Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>

ESRI. ArcMap. Slope [acesso em 01 de dezembro de 2020c] Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm>

ESRI. ArcMap. Buffer [acesso em 01 de dezembro de 2020d] Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.6/tools/analysis-toolbox/buffer.htm>

FAO. Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. Rome: FAO; 2015.

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). Rome: FAO; 2020a. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Clarias_gariepinus/en

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). Rome: FAO; 2020b. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/cyprinus_carpio/en

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Ctenopharyngodon idellus* (Valenciennes, 1844). Rome: FAO; 2020c. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Ctenopharyngodon_idellus/en

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Rome: FAO; 2020d. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en

FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Rome: FAO; 2020e. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en

FAO. Développement et recherche aquacoles en Afrique du Nord. Synthèse des études nationales et plan d'action pour la recherche. Tunis: FAO – MEDRAP; 1995. [acesso em 24 de maio de 2021] Disponível em <http://www.fao.org/3/af066f/AF066F00.htm>

FAO. National Aquaculture Sector Overview. Bangladesh. In: FAO Fisheries Division [online]. Rome; Updated 2005-2021. [acesso em 24 de maio de 2021] Disponível em http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_bangladesh/en

FAO. National Aquaculture Sector Overview: Algeria. Rome: FAO; 2014. [acesso em 12 de dezembro de 2020] Disponível em: http://www.fao.org/figis/pdf/fishery/countrysector/naso_algeria/en

Funge-Smith, S. Phillips, M.J. 2001. Aquaculture systems and species. In R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough, S.E. McGladdery & J.R. Arthur, eds. Aquaculture in the Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium, Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. pp. 129-135. NACA, Bangkok and FAO, Rome.

Gewin, V. Data sharing: An open mind on open data. *Nature* 2016. 529:117–119.

Jenness J, Dooley J, Aguilar-Manjarrez J, Riva C. African Water Resource Database. GIS-based tools for inland aquatic resource management. 1. Concepts and application case studies, Part 1. Rome: FAO; 2007. CIFA Technical Paper. No. 33.

Kapetsky JM, Aguilar-Manjarrez J. Geographic information systems , remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture. Rome: FAO; 2007. FAO technical paper.

Kapetsky JM, Nath SS. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in Latin America. Rome: FAO; 1997 COPESCAL Technical Paper. No. 10.

Kara MH, Lacroix D, Rey-valette H, Mathé S, Blancheton JP. Dynamics of Research in Aquaculture in North Africa and Support for Sustainable Development and Innovation. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 2018, DOI: 10.1080/23308249.2017.1410521

Kara MH, Lacroix D, Sadek S, Blancheton, JP, Rey-valette H. Vingt ans d ' aquaculture en Afrique du Nord : évolutions , bilan critique et avenir Vingt ans d ' aquaculture en Afrique du Nord : évolutions , bilan critique et avenir. *Cah Agric* 2016. 25:1–9.

- Kumar D. 1999. Trickle Down System (TDS) of Aquaculture Extension for Rural Development. Bangkok: REGIONAL OFFICE FOR ASIA AND THE PACIFIC/FAO: 1999. RAP Publication N°1999/23.
- Laama C, Bachari NEI. Evaluation of site suitability for the expansion of mussel farming in the Bay of Souahlia (Algeria) using empirical models. *J Appl Aquac* 2019. 31(4):337–355.
- Laama, C, Abderrahim H, Bachari NEI. Site selection for finfish cage farming using spatial multi-criteria evaluation and their validation at field in the Bay of Souahlia (Algeria). *Aquac Int* 2020. 28(6):2419–2436.
- Merah F, Boudoukha A, Grard A, Everbecq E, Magermans P, Deliège JF. Modelling the surface water quality of the Agrioune River in the north-east of Algeria by the PEGASE model. *Int J River Basin Manag* 2020. 18(4):477–490.
- MPRH - Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques. Bilan (2012-2014), Prospective 2030, & Projet Plan Aquapeche 2020. République Algérienne Démocratique et Populaire. Algérie; 2014.
- NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems; U.S./Japan ASTER Science Team. ASTER DEM Product [base de dados online]. Distribuído por: NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2001. [Acesso em: 04/08/2020.] Disponível em: <https://doi.org/10.5067/ASTER/AST14DEM.003>.
- Nath, SS, Bolte JP, Ross LG, Aguilar-Manjarrez J. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquac Eng* 2000; 23(1–3):233–78.
- Ross, LG, Telfer, TC, Falconer, L, Soto, D, Aguilar-Manjarrez J, Asmah R, et al. Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. In L.G. Ross, T.C. Telfer, L. Falconer, D. Soto, J. Aguilar-Manjarrez, eds. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. Rome, FAO; 2013. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21.
- Spruill CA; Workman SR, Taraba JL. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Transactions of the ASAE* 2000. 43(6): 1431–1439.
- Strahler AN. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geol. Soc. America Bulletin* 1952. 1117-1142.
- Tagil S, Jenness J. GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences* 2008. 8(6):910–921.
- Vianna LF de N, Bonetti J. Spatial analysis for site selection in marine aquaculture: an ecosystem approach applied to Baía Sul, Santa Catarina, Brazil. *Aquaculture* 2018. 489:162–174.
- Vianna LF, Bonetti J, Bonetti C. Sistemas de Informações Geográficas para seleção de sítios para aquicultura: uma revisão. *Agropecuária Catarinense* 2016. 29(2):18–43.
- Woynarovich A, Hoitsy G, Moth-Poulsen T. 2011. Small-scale rainbow trout farming. Rome: FAO; 2011. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 561.