

## **Sistema baseado na lógica fuzzy para diagnóstico da qualidade da água para o cultivo de tilápia-do-Nilo**

System based on fuzzy logic for diagnosis of water quality for the cultivation of Nile tilapia

Sistema basado en lógica difusa para el diagnóstico de la calidad del agua para el cultivo de tilapia del Nilo

Recebido: 13/02/2022 | Revisado: 22/02/2022 | Aceito: 01/03/2022 | Publicado: 10/03/2022

### **Sergio Luís de Castro Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1125-0430>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [sergio.castro@usp.br](mailto:sergio.castro@usp.br)

### **Daniel Sá Freire Lamarca**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-0735>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [lamarca@usp.br](mailto:lamarca@usp.br)

### **Thiago Lorente Kraetzer**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0723-7281>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [kraetzer@usp.br](mailto:kraetzer@usp.br)

### **Glauber da Rocha Balthazar**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1993-6621>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [glauber.balthazar@usp.br](mailto:glauber.balthazar@usp.br)

### **Fernando de Lima Caneppele**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4498-8682>  
Universidade de São Paulo, Brasil  
E-mail: [caneppele@usp.br](mailto:caneppele@usp.br)

### **Resumo**

A aquicultura caracteriza-se como um sistema de produção de organismos (plantas e animais) em ambiente aquático controlado, sendo geralmente aplicada de forma sustentável nas fazendas por apresentar um rápido retorno econômico na produção de alimentos. Informações precisas e rápidas sobre a qualidade da água são fundamentais para garantir tanto a sobrevivência de peixes, quanto sua correta conversão alimentar. Nesse contexto, o objetivo deste artigo foi desenvolver um sistema de apoio à decisão, baseado na teoria dos conjuntos fuzzy, para a avaliação das condições de qualidade de água e sua influência na ambiência de tilápias do Nilo. A execução deste trabalho foi dividida em três etapas: a) levantamento bibliográfico dos parâmetros de qualidade de água, considerando sua influência no desempenho produtivo dos peixes; b) utilização dos resultados da fase anterior, somado a contribuições dos especialistas, para o desenvolvimento de um sistema de inferência fuzzy para diagnóstico da qualidade de água nos tanques de criação; c) Utilização do sistema fuzzy elaborado previamente para análise de um banco de dados representante de um tanque comercial de criação de tilápia-do-nilo. Os resultados obtidos mostraram-se adequados para a classificação da qualidade da água para tilápias-do-nilo, utilizando o processo de modelagem fuzzy. As classificações determinadas pelo modelo fuzzy assemelham-se com a classificação dada pelo modelo booleano. Contudo, as divergências encontradas entre os modelos mostram-se relevantes à medida que pequenas oscilações observadas nas variáveis de entrada (temperatura e pH) não indicam alterações bruscas na variável de saída do modelo (qualidade da água), no caso do modelo fuzzy.

**Palavras-chave:** Piscicultura; Aquicultura; Modelagem matemática.

### **Abstract**

Aquaculture is characterized as a system for the production of plants and animals in a controlled aquatic environment, being generally applied in a sustainable way on farms for presenting a fast economic return. Accurate and quick information about water quality is essential to guarantee both the survival of fish and their correct feed conversion. In this context, the objective of this article was to develop a decision support system, based on the theory of fuzzy sets, for the evaluation of water quality conditions and their influence on the productivity and ambience of Nile tilapia. The execution of this work was divided into three stages: a) bibliographic survey of the water quality parameters, considering their influence on the productive performance of the fish; b) the use of the results of the previous phase, together with contributions from experts, for the development of a fuzzy inference system for diagnosing water

quality in breeding tanks; c) use the fuzzy system previously elaborated for analysis of a database representing a commercial tank. The results obtained in the present work were shown to be adequate for the classification of water quality for Nile tilapia, using the fuzzy modeling process. The classifications determined by the fuzzy model were similar to the classification given by the Boolean model. However, the divergences found between the models are relevant as small oscillations observed in the input variables (temperature and pH) do not indicate sudden changes in the model's output variable (water quality), in the case of the fuzzy model.

**Keywords:** Fish farming; Aquaculture; Mathematical modeling.

### Resumen

La acuicultura se caracteriza por ser un sistema para la producción de plantas y animales en un ambiente acuático controlado, siendo aplicado de manera sustentable en granjas por presentar un rápido retorno. La información precisa y rápida sobre la calidad del agua son fundamentales para garantizar la supervivencia de los peces. En este contexto, el objetivo de este artículo fue desarrollar un sistema de apoyo a la decisión, basado en la teoría de conjuntos difusos, para la evaluación de las condiciones de calidad del agua y su influencia en la productividad de la tilapia del Nilo. La ejecución se dividió en tres etapas: a) relevamiento bibliográfico de los parámetros de calidad del agua, considerando su influencia en el desempeño productivo de los peces; b) el desarrollo de un sistema de inferencia difusa para el diagnóstico de la calidad del agua en los tanques de cría; c) utilizar el sistema difuso elaborado previamente para el análisis de una base de datos que representa un tanque comercial de cría de tilapia del Nilo. Los resultados obtenidos demostraron ser adecuados para la clasificación de la calidad del agua para la tilapia del Nilo, utilizando el proceso de modelado difuso. Las clasificaciones determinadas por el modelo difuso son similares a la clasificación dada por el modelo booleano. Las divergencias encontradas entre los modelos son relevantes ya que las pequeñas oscilaciones observadas en las variables de entrada no indican cambios bruscos en la variable de salida del modelo, en el caso del modelo difuso.

**Palabras clave:** Piscicultura; Acuicultura; Modelo matemático.

## 1. Introdução

A aquicultura caracteriza-se como um sistema de produção de organismos (plantas e animais) em ambiente aquático controlado, sendo geralmente aplicada de forma sustentável nas fazendas por apresentar um rápido retorno econômico na produção de alimentos (Menezes Junior, 2010). De acordo com a FAO (2019), o consumo de pescados no mundo subiu de 9kg em 1961 para 20,5kg em 2018, ano em que a produção atingiu 179 milhões de toneladas (sendo 82 milhões de toneladas provenientes da aquicultura) e com faturamento de US\$ 400 bilhões no ano de 2018.

Uma das atividades mais rentáveis neste sistema é a piscicultura, caracterizada pela produção de peixes e sendo a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) uma das espécies animais mais produzidas. A tilápia é um peixe de água doce originária da África, onde sua criação teve início no Zaire no começo do século XIX. O cultivo foi adaptado no Brasil em 1971 pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca e desde então espalhou-se sua produção por todo o país (Proença & Bittencourt, 1994).

De acordo com SEBRAE (2014), as vantagens da criação da tilápia são variadas, destacando-se a sua alta capacidade de adaptação em diversas situações ambientais, mantendo uma alta taxa de conversão alimentar, uma boa resistência ao manuseio além de apresentar alto padrão de custo/benefício produtivo em virtude do seu grande potencial de comercialização. No Brasil, a produção de tilápia-do-nilo é apresentada como uma atividade comercial vantajosa e altamente rentável. De acordo com o Anuário de 2020 da Associação Brasileira de Piscicultura, em 2019 foram produzidas 722 mil toneladas com receita média de R\$ 5,6 bilhões. Neste contexto, o Brasil caracteriza-se como quarto maior produtor de tilápias, o que representa 55,4% da produção de peixes no país (Santana, 2020).

Um dos sistemas mais utilizados para a criação de tilápias são os tanques escavados, que, de acordo com SENAR (2018a) "caracterizam-se por serem ambientes aquáticos artificialmente construídos retirando-se a terra de sua parte central ou de uma encosta, elevando-se as paredes, chamadas talude". Assim, os peixes são cultivados neste ambiente com água acumulada de diversas fontes (como nascentes, poços, córregos, etc). As principais vantagens deste sistema são a disponibilidade de alimentação natural (fitoplâncton), possibilidade de fácil correção na qualidade da água e segurança quanto

a furtos, pois estes tanques ficam geralmente em localizações planas que podem ser cercadas (SENAR, 2018a; Leonardo, Corrêa & Baccarin, 2018).

Na piscicultura, as variáveis a serem observadas constantemente na produção fazem menção diretamente à qualidade da água nos tanques escavados em que os peixes são cultivados, uma vez que a observação e mensuração direta de parâmetros fisiológicos e comportamentais dos animais é dificultada. Informações precisas e rápidas sobre a fonte, quantidade, nível de oxigenação, pH, temperatura, níveis de amônia e nitrato, transparência, alcalinidade, dentre outros, são fundamentais para garantir tanto a sobrevivência do animal, quanto sua correta conversão alimentar (Borges, 2009; Corrêa et al., 2018). Dessa forma, a literatura reconhece que a qualidade da água possui relação direta com o desempenho produtivo e a ambiência de peixes, incluindo a tilápia-do-nilo (Cardoso Filho, Campeche & Paulino, 2010; Coelho et al., 2014).

Baseado nestas informações produtivas, a adoção de Tecnologias da Informação a serviço dos produtores é uma tendência cada vez mais aplicada, pois possibilita a diminuição de custos e perdas produtivas em virtude da identificação de problemas e gargalos na produção. Entretanto, investimentos em tecnologias para aquisição e gerenciamento de dados da aquicultura ainda são inferiores quando comparados a outras produções zootécnicas, havendo então uma lacuna científica e comercial com grande potencial de exploração.

Dentro do arcabouço de sistemas de apoio à tomada de decisão, encontra-se a lógica fuzzy. Tratada em alguns momentos como lógica nebulosa ou lógica difusa, a lógica fuzzy é uma lógica diferente da booleana, pois permite uma variação de valores entre 0 e 1 (Zadeh, 1965). Ao longo dos últimos anos, a lógica fuzzy vem sendo empregada no processo decisório de produtores rurais, considerando a influência do ambiente no conforto térmico e desempenho produtivo de diversas espécies animais de interesse produtivo ambiente de diversas produções animais e vegetais. Esta ferramenta de modelagem tem sido aplicada em diferentes áreas científicas, dentre elas a área de ciências agrárias (Gabriel Filho et al., 2016; Oliveira, Amendola & Nääs, 2005; Ponciano et al., 2012; Putti et al., 2014; Góes et al., 2020). Entretanto, ainda há uma carência de estudos utilizando sistemas fuzzy para avaliação dos ambientes de produção de peixes.

Para a construção de um modelo fuzzy são necessárias quatro etapas. A primeira etapa trata-se do módulo de fuzzificação em que se define as variáveis de entrada do modelo, juntamente com suas respectivas funções de pertinência. Em seguida, é elaborado o módulo de base de regras do sistema. A terceira etapa é responsável pelo módulo de inferência, no qual define-se os conectivos lógicos que serão usados junto à base de regras, para que na sequência seja fornecido a saída do controlador fuzzy. Por fim, na última etapa, está o módulo de defuzzificação, o qual tem como intuito traduzir a situação de cada variável de saída em um valor numérico (Amendola et al., 2004). A partir da finalização desses processos é realizada a análise dos resultados do modelo.

Considerando a importância econômica do cultivo de tilápia-do-nilo no Brasil, a grande influência da qualidade da água no desempenho dos peixes, os atuais avanços tecnológicos no setor agropecuário e o potencial de adaptação destes sistemas para a piscicultura, este artigo teve por objetivo desenvolver um sistema de apoio à decisão, baseado na teoria dos conjuntos fuzzy, para a avaliação das condições de qualidade de água e sua influência na produtividade e ambiência de tilápias do Nilo.

## 2. Metodologia

A execução deste trabalho foi dividida em três etapas principais e consequentes (Figura 1). A primeira delas representa o levantamento bibliográfico dos parâmetros de qualidade de água, considerando sua influência no desempenho produtivo dos peixes. A segunda etapa, por sua vez, utilizou os resultados da fase anterior, somado a contribuições dos especialistas, para o desenvolvimento de um sistema de inferência fuzzy para diagnóstico da qualidade de água nos tanques de

criação. Já a terceira e última etapa visou utilizar o sistema fuzzy elaborado previamente para análise de um banco de dados representante de um tanque comercial de criação de tilápia-do-nilo.

**Figura 1:** Etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Autores.

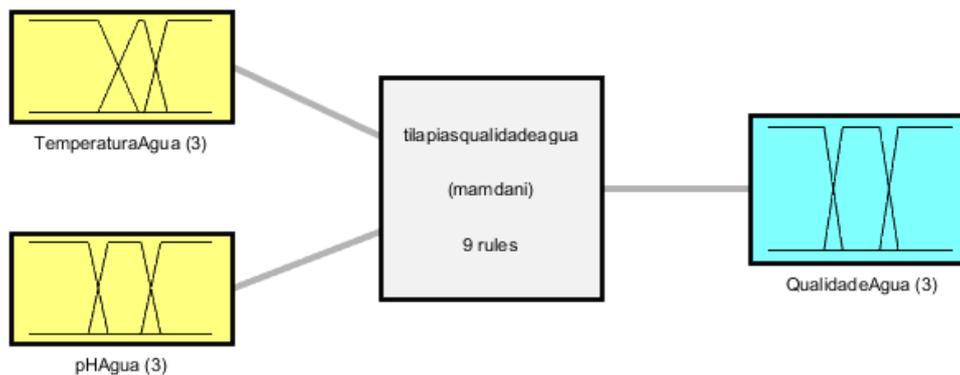
Na etapa 1 neste estudo, considerou-se que a avaliação da água nos tanques para a criação de peixes envolve uma análise multifatorial, uma vez que diversos parâmetros físicos e químicos atuam como indicadores de adequação da água para o cultivo. Este trabalho foca em dois destes, sendo: temperatura da água e o pH da água. O critério de escolha para estas variáveis foi baseado na sua importância, uma vez que a literatura aponta que valores críticos destas variáveis apresentam risco para o cultivo dos peixes (Borges et al., 2009; SENAR 2018b). Leira et al. (2017) ainda sugerem que a temperatura é o principal indicador físico de qualidade de água, enquanto o pH é adotado como o principal parâmetro químico. Considerando sua relevância para o setor produtivo, estas variáveis são coletadas regularmente no manejo dos tanques, já fazendo parte da rotina dos criadores de tilápia-do-nilo.

Considerando tais fatores, foi realizada uma catalogação bibliográfica para o levantamento dos parâmetros qualitativos para análise de água e sua adequação para o cultivo de tilápias. Como método de busca bibliográfica, foi utilizada uma revisão sistemática, conforme apresentado por Pereira e Galvão (2014) e Castro Junior e Silva (2020) e seguindo com seguintes passos: 1) compilação de artigos científicos e manuais técnicos publicados nas principais bases de dados nacionais que utilizaram os parâmetros de qualidade de água para cultivo de tilápia-do-nilo em suas avaliações; 2) identificação e busca do referencial teórico dos parâmetros de temperatura e pH da água adequados para a criação de peixes; 3) catalogação das faixas de temperatura e pH encontradas.

No desenvolvimento do sistema fuzzy (Etapa 2), foram definidos os seguintes componentes: o módulo processador de entrada (fuzzificador), as regras linguísticas, o método de inferência fuzzy que melhor se adequou ao projeto e o módulo processador de saída (defuzzificador). Adotou-se como método de inferência o Mamdani, o qual também foi utilizado por Amendola et al., (2004); Tolon et al., (2010); Ponciano et al., (2012) e Caneppele et al. (2013). Ressalta-se que o método para defuzzificação foi o Centro de Gravidade (*centroid*). Para a construção do modelo foi utilizado a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* no software MATLAB®.

O sistema fuzzy elaborado é apresentado na Figura 2. Como variáveis de entrada, foram utilizadas aquelas selecionadas na etapa anterior (temperatura e pH da água). Para cada variável de entrada foi designado funções de pertinência trapezoidais, sendo cada variável representada por três funções. Os valores para a composição das funções foram estabelecidos conforme os resultados obtidos na Etapa 1. Já a saída do sistema foi a condição de qualidade da água, sendo esta também representada por três funções de pertinência trapezoidais, conforme modelo também adotado por Oliveira, Amendola & Nääs (2005), Cecchin et al. (2016) e Perissinotto et al. (2009) no desenvolvimento de sistemas fuzzy para avaliação da qualidade do ambiente de produção animal. A partir das relações entre as variáveis de entrada e saída, foi considerado neste estudo um conjunto de nove regras linguísticas a partir da consulta a especialistas.

**Figura 2:** Resumo do sistema fuzzy para análise da qualidade de água de tanques para o cultivo de tilápias.



Fonte: Autores.

Após a construção do modelo fuzzy, na última etapa de desenvolvimento do trabalho (Etapa 3), utilizou-se um banco de dados com 76 registros históricos da criação de tilápias-do-nylo para análise do modelo. Os dados foram obtidos durante o mês de julho do ano de 2020, na realização de um estudo observacional sobre tilápias-do-nylo. Esta análise permitiu confrontar a lógica clássica com a lógica fuzzy no processo de classificação dos 76 registros. A partir desta análise foi possível discutir nos resultados do trabalho os pontos de divergência entre os dois modelos de classificação.

### 3. Resultados e Discussão

Considerando a importância da qualidade da água dos tanques escavados para a criação de tilápias, diversos estudos vêm sendo realizados para indicar faixas específicas de temperatura e pH da água de acordo com seu impacto no desempenho e sobrevivência dos peixes (Tabela 1).

**Tabela 1:** Parâmetros indicadores de qualidade da água utilizados nesta pesquisa.

<b>Autor (ano)*</b>	<b>Temperatura</b>	<b>pH</b>
EMBRAPA (s. d)	20°C < 24 – 28°C < 32°C	4,0 < 6,0 - 9,0 < 11,0
Borges (2009)	14°C < 26 – 28°C	6,5 < 7,0 - 8,5 < 9,0
SEBRAE (2014)	27 – 32°C	4,5 < 6,0 - 8,5 < 10,5
Andrade et al. (2016)	20°C < 26 – 30°C	5,0 < 6,0 - 8,5 < 11,0
Leira et al. (2017)	20°C < 24 - 28°C < 32°C	4,5 < 6,0 a 9,0 < 10
SENAR (2018b)	26 - 30°C	6,0 e 8,5
<b>Parâmetro ajustado</b>	<b>20°C &lt; 27 – 28°C &lt; 32°C</b>	<b>4,5 &lt; 6,0 – 8,5 &lt; 10</b>

\*Autores ordenados por ano de publicação. Fonte: Autores.

Autores concordam que a temperatura é um dos fatores mais importantes para a qualidade da água nos tanques de criação de tilápia, uma vez que esta variável influencia os fenômenos químicos e biológicos ocorrentes no ambiente de produção (Leira et al., 2017; Moura et al., 2007; Kubitzka, 2020). Leira et al. (2017) ainda destacam que os peixes ajustam sua temperatura corporal de acordo com a temperatura da água, que pode favorecer ou comprometer as atividades fisiológicas dos

animais, como a respiração, alimentação, reprodução e crescimento. Kubitzka (2000) aponta ainda que temperaturas altas (acima de 32°C) e baixas (abaixo de 27°C) comprometem o apetite e o crescimento das tilápias, sendo o sistema imunológico desses animais suprimidos nestas situações. Ao variar as temperaturas da água de 20 a 32°C no tanque, Moura et al. (2007) observaram um aumento linear do consumo de ração aparente e do ganho de peso das tilápias, enquanto a conversão alimentar foi máxima quando o tanque atingiu valores próximos de 29°C. Ademais, Andrade et al. (2016) reforçam que temperaturas da água entre 8 e 14°C comprometem severamente a sobrevivência dos peixes.

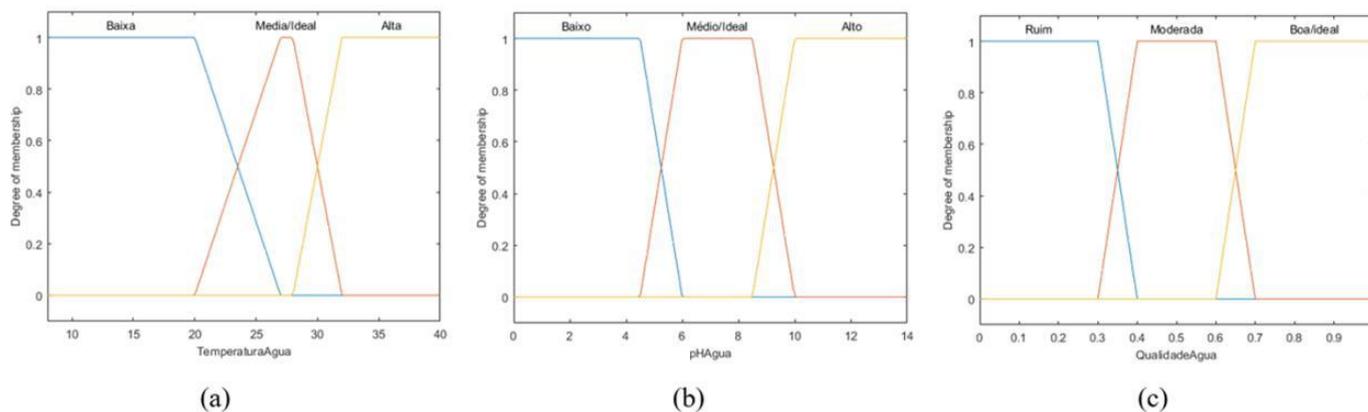
Embora a literatura reconheça a importância da temperatura da água na produção comercial de tilápias-do-Nilo, os autores divergem quanto aos limites adequados para esta variável (Tabela 1). Borges (2009) indica, por exemplo, que a temperatura ideal para o cultivo de tilápias deve estar na faixa entre 26 a 28°C, enquanto o manual do SENAR (2018a) expande essa faixa para o intervalo de 26 a 30°C. Podem, os autores tendem a concordar que 32°C representa um limite crítico superior para a criação de peixes, enquanto 20°C é reconhecido como um limite crítico inferior. Com base na análise deste conjunto de referências e considerando os momentos de intersecção entre os valores de temperatura da água recomendada pelos autores, este artigo recomenda a faixa de 27 a 28°C como o intervalo ótimo para a criação de tilápias, sendo 20°C o limite crítico inferior e 32°C o limite crítico superior.

Assim como a temperatura, o pH da água também possui grande relevância para o bom desempenho produtivo das tilápias (White et al., 2014). Fora das zonas ideais, o pH pode comprometer a respiração dos peixes, uma vez que há uma maior dificuldade de estabelecer o equilíbrio osmótico ao nível das brânquias (Leira et al., 2017). Em situações extremas de alcalinização e acidificação da água podem ocorrer a mortalidade dos animais. Fatores que podem influenciar o pH do tanque incluem a fotossíntese de organismos presentes no sistema, a adubação, a calagem e a poluição da água. Ademais, vale ressaltar que o pH da água tende a ser maior durante o dia, estando associado com o alto nível de oxigênio dissolvido.

Embora ainda com algumas divergências, a literatura tende a concordar com os limites de pH recomendados para o cultivo de tilápias do Nilo (Tabela 1). A variação do pH de 6,0 a 8,5 é considerada ideal para a criação dos animais, sendo esta a faixa indicada pelo SEBRAE (2014), Andrade et al. (2016) e SENAR (2018a). Entretanto, os limites críticos apresentam uma maior discordância entre os autores, sendo, o limite inferior crítico caracterizado entre 4 a 6,5 e o limite superior crítico entre 9 e 11. Considerando os resultados encontrados na literatura, este trabalho recomenda como faixa ideal para a criação de tilápias o intervalo de pH entre 6 e 8,5, com o limite crítico inferior de 4,5 e superior de 10.

O modelo *fuzzy* deste projeto foi elaborado considerando as orientações obtidas pela literatura, conforme descrito no subitem anterior e adequando os parâmetros de temperatura e pH da água apresentados pelas fontes catalogadas. A partir disso, foram estabelecidos os conjuntos *fuzzy* e as funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída (Figura 3). Para a temperatura da água (variável de entrada), as funções de pertinência foram classificadas como Baixa [8;27]; Médio [21;32] e Alta [28;40]. Destaca-se que o conjunto “Médio” representa a melhor condição para a criação de tilápias do Nilo. Já para o pH (variável de entrada), as funções de pertinência foram classificadas como Baixo [0;6]; Médio [4,5;10] e Alto [6;14]. Assim como a temperatura, o conjunto “Médio” do pH representa a condição ideal para o cultivo dos peixes. A qualidade da água (variável de saída) foi composta por três funções de pertinência, sendo: Ruim [0;0,4], Moderada [0,3;0,7] e Boa [0,6;1], sendo esta última a que representa a melhor condição para a criação de tilápias.

**Figura 3:** Curvas de pertinência das variáveis temperatura (a), pH (b) e qualidade da água (c).



Fonte: Autores.

A base de regras (Tabela 2) para o sistema proposto é apresentada na Tabela 2. As proposições fuzzy foram apresentadas na forma SE-E-ENTÃO, totalizando um conjunto de 9 regras. A melhor situação de saída (qualidade de água boa/ideal) foi quando ambas as variáveis de entrada se apresentam ideais. Por outro lado, a pior situação (qualidade de água ruim) foi quando ambas as variáveis estão fora da situação ideal. As regras foram elaboradas com o auxílio de especialistas da área e, considerando que ambas as variáveis de entrada possuem influência de níveis similares no desempenho dos peixes, foram atribuídos pesos de fator de ponderação igual a 1 para todas as regras.

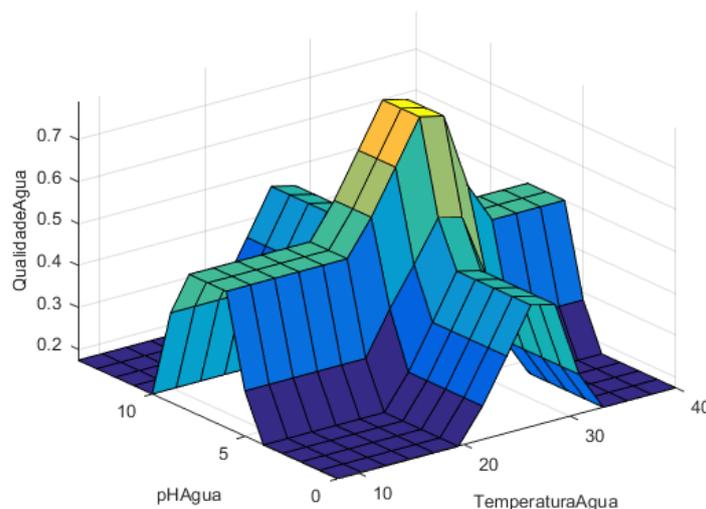
**Tabela 2:** Composição da base de regras utilizando as variáveis de entrada (Temperatura – T e pH) e de saída (Qualidade da Água – QA).

1.	Se	(T é Baixa)	e	(pH é Baixo)	então	(QA é Ruim)	(1)
2.	Se	(T é Baixa)	e	(pH é Médio)	então	(QA é Moderada)	(1)
3.	Se	(T é Baixa)	e	(pH é Alto)	então	(QA é Ruim)	(1)
4.	Se	(T é Média)	e	(pH é Baixo)	então	(QA é Moderada)	(1)
5.	Se	(T é Média)	e	(pH é Médio)	então	(QA é Boa/Ideal)	(1)
6.	Se	(T é Média)	e	(pH é Alto)	então	(QA é Moderada)	(1)
7.	Se	(T é Alta)	e	(pH é Baixo)	então	(QA é Ruim)	(1)
8.	Se	(T é Alta)	e	(pH é Médio)	então	(QA é Moderada)	(1)
9.	Se	(T é Alta)	e	(pH é Alto)	então	(QA é Ruim)	(1)

Fonte: Autores.

A partir das funções de pertinência geradas para as variáveis e o conjunto de regras estabelecidos, foi possível obter a superfície de resposta para o modelo fuzzy proposto neste estudo (Figura 4). A superfície de resposta representa a associação entre as variáveis de entrada e saída do sistema.

**Figura 4:** Superfície de resposta para o sistema fuzzy elaborado.



Fonte: Autores.

Para análise do modelo fuzzy, foram utilizados 76 registros históricos de produção de tilápias-do-nylo. Baseado nos dados históricos, verificou-se a classificação da qualidade da água gerada para cada um dos registros em função do modelo fuzzy e também em função do modelo lógico tradicional (booleano). Para todos os registros analisados, verificou-se que 96,05% dos resultados obtiveram a mesma classificação para a qualidade da água em ambos os modelos (fuzzy e booleano). Para os resultados divergentes (3,95%), tem-se que os registros foram classificados como "Ideal" pelo modelo fuzzy e como "Moderada" pelo modelo booleano.

Nos casos divergentes, vale destacar que dois registros obtiveram uma saída numérica no processo de defuzificação muito próxima da classe "Moderada", considerando a classificação do modelo fuzzy. Houve apenas um único registro, o qual houve uma diferença significativa entre os dois modelos. Neste caso, observou-se que para a variável "pH", o valor registrado estava na faixa ótima e, para a variável "temperatura da água", o valor (26,8°C) encontra-se muito próximo do considerado "Ideal" (27°C). Portanto, para a lógica clássica, situações como esta, seria classificada como "Moderada", mas para a lógica fuzzy, seria considerado como uma situação "Ideal". Nesse sentido, o modelo fuzzy, mostra-se como vantajoso no processo de tomada de decisão, pois permite captar pequenas variações dos valores e não realizar modificações bruscas nas respostas oriundas do modelo.

#### 4. Considerações Finais

Os resultados obtidos no presente trabalho, mostraram-se adequados para a classificação da qualidade da água para tilápias-do-nylo, utilizando o processo de modelagem fuzzy. As classificações determinadas pelo modelo fuzzy se assemelham muito a classificação dada pelo modelo booleano. Contudo, as divergências encontradas entre os modelos mostram-se relevantes à medida que pequenas oscilações observadas nas variáveis de entrada (temperatura e pH) não indicam alterações bruscas na variável de saída do modelo (qualidade da água), no caso do modelo fuzzy. Em estudos futuros, sugere-se que o modelo desenvolvido e validado neste trabalho possa ser utilizado na gestão prática de tanques, obtendo assim um maior volume de dados para análise. Além disso, em novos estudos, este modelo poderá ser utilizado para o desenvolvimento de um aplicativo móvel no processo de determinação da qualidade da água para tilápias-do-nylo. Como limitação deste estudo, tem-se

a quantidade de dados utilizados para análise do modelo, os quais foram insuficientes para maiores conclusões sobre o modelo.

## Referências

- Amendola, M., Castanho, M. J., Nääs, I. A., & Souza, A. L. (2004). Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. *Biomatemática Brasil*, 14(1), 87-92.
- Andrade, C. L.; Rodrigues, F. C.; Castro, K. S.; Pires, M. F.; Pires, S. F (2016). Fatores que influenciam no desempenho e sobrevivência de tilápias em sistemas de tanques-rede. *Nutri-Time*, 13(1), 4565-4569.
- Borges, A. M. (2009). *Criação de tilápias*. 2. ed. Brasília: Emater-Df, 44 p.
- Caneppele, F. D. L., Seraphim, O. J., Gabriel Filho, L. R. D. A., Gabriel, C. P. C., & Savi, A. F. (2013). Gains obtained in hybrid systems of energy generation solar photovoltaic and wind power for rural electrification with the use of fuzzy logic controllers based. *Scientific Journal Agricultural Engineering*, 35-44.
- Cardoso Filho, R., Campeche, D. F., & Paulino, R. V. (2010). Tilápia em reservatório de água para irrigação e avaliação da qualidade da água. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(1), 117-122.
- Castro Júnior, S. L., & da Silva, I. J. O. (2020). The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. *International Journal of Biometeorology*, 1-13.
- Cecchin, D., Campos, A. T., Schiassi, L., Da Cruz, V. M. F., & Sousa, F. A. (2016). Índice fuzzy para o conforto térmico de suínos na fase de crescimento e terminação com base na temperatura superficial e frequência respiratória. *Energia Na Agricultura*, 31(4), 334-341.8
- Coêlho, A. A. D. C., Bezerra, J. H. C., Silva, J. W. A. D., Moreira, R. T., Albuquerque, L. F. G. D., & Farias, W. R. L. (2014). Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo cultivados em um sistema de recirculação de água com a microalga *Spirulina platensis*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15(1), 149-159.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. A importância de monitorar a qualidade da água na piscicultura. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj6uOW2vcHwAhVZHLkGHWb2BsMQFjADegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.embrapa.br%2Fdocuments%2F1354377%2F1752280%2FImport%25C3%25A2ncia%2BMonitorar%2BQualidade%2B%25C3%2581gua%2BPiscicultura.pdf%2Fd685903a-b6b0-473f-9bce-2d14387b00e0%3Fversion%3D1.0&usq=AOvVaw1FGNg7LVf0D51OFWSLZ\\_sC](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj6uOW2vcHwAhVZHLkGHWb2BsMQFjADegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.embrapa.br%2Fdocuments%2F1354377%2F1752280%2FImport%25C3%25A2ncia%2BMonitorar%2BQualidade%2B%25C3%2581gua%2BPiscicultura.pdf%2Fd685903a-b6b0-473f-9bce-2d14387b00e0%3Fversion%3D1.0&usq=AOvVaw1FGNg7LVf0D51OFWSLZ_sC). Acessado em: 15 abr 2021.
- FAO – Food and Agriculture Organization. *FAOSTAT*. Rome: FAO, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/2018/en>>. Acesso em: 08 abril 2021.
- Gabriel Filho, L. R., Putti, F. F., Cremasco, C. P., Bordin, D., Chacur, M. G., & Gabriel, L. R. (2016). Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. *Engenharia Agrícola*, 36(1), 179-193.
- Góes, B. C., Goes, R. J., Cremasco, C. P., & Gabriel Filho, L. R. A. (2020). Método de utilização do Fuzzy Logic Toolbox do software MATLAB para modelagem matemática de variáveis biométricas e nutricionais da cultura da soja. *Research, Society and Development*, 9(10), e4329108938-e4329108938.
- Kraetzer, T. L., & Balthazar, G. R. (2021). FISHBOARD: An electronic device for analysis of productive data in pisciculture (fish-farming). *Brazilian Journal of Development*, 7(3), 28513-28533.
- Kubitza, F. (2000). *Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial*. Ed. do Autor.
- Leira, M. H., da Cunha, L. T., Braz, M. S., Melo, C. C. V., Botelho, H. A., & Reghim, L. S. (2016). Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. *Pubvet*, 11, 11-17.
- Leonardo, A. F., Corrêa, C. F., & Baccarin, A. E. (2018). Qualidade da água de um reservatório submetido à criação de tilápias em tanques-rede, no sul de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 37(4), 341-354.
- Menezes Junior, A. B. (2010). *Aquicultura na prática*. Barueri, Sp: Editora Nobel, 144 p.
- Moura, G. D. S., Oliveira, M. G. A., Lanna, E. T. A., Maciel Júnior, A., & Maciel, C. M. R. R. (2007). Desempenho e atividade de amilase em tilápias-do-nilo submetidas a diferentes temperaturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(11), 1609-1615.
- Oliveira, H. L. D., Amendola, M., & c, I. D. A. (2005). Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Engenharia Agrícola*, 25(2), 300-307.
- Pereira, M. G., & Galvão, T. F. (2014). Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 23, 369-371.
- Perissinotto, M., Moura, D. J., Cruz, V. F., Souza, S. R. L. D., Lima, K. A. O. D., & Mendes, A. S. (2009). Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, 39(5), 1492-1498.
- Ponciano, P. F., Yanagi Junior, T., Schiassi, L., Campos, A. T., & do Nascimento, J. W. (2012). Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, 32(3), 446-458.
- Proença, C. E. M., & Bittencourt, P. R. L. (1994). *Manual de piscicultura tropical*. Brasília: IBAMA. DIREN/DEPAQ/DIPEA.

Putti, F. F., Gabriel Filho, L. R. A., Ludwig, R., Da Silva, A. O., & Cremasco, C. P. (2014). Fuzzy logic to evaluate vitality of *Catasetum fimbriatum* species (Orchidaceae). *Irriga*, 19(3), 405-413.

Santana, W. (2020). FAO divulga crescimento de consumo de pescados nas últimas 5 décadas. *Pesca Amadora: Pesca, Náutica e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2014). *Criação de tilápia em tanques escavados*. Natal:SEBRAE/RN, 2014. 32 p.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2018a). *Piscicultura: criação de tilápias em viveiros escavados*. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 120 p.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2018b). *Piscicultura: construção de viveiros escavados*. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2018.

Tolon, Y. B., Baracho, M. S., Nääs, I. D. A., Rojas, M., & Moura, D. J. D. (2010). Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Engenharia Agrícola*, 30(1), 01-13.

White, R. S., McHugh, P. A., Glover, C. N., & McIntosh, A. R. (2015). Multiple environmental stressors increase the realised niche breadth of a forest-dwelling fish. *Ecography*, 38(2), 154-162.

Zadeh L. A. (1965) Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.