



EDUCAÇÃO AMBIENTAL MEDIANTE A APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS: CASO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL DA *OREOCHROMIS NILOTICUS*

Anna Beatriz Pereira de Paiva Pordeus¹
Janaína Cortêz de Oliveira²
Ótávio Paulino Lavor³

RESUMO

A inclusão das temáticas ambientais nas redes de ensino e no debate social torna-se uma ponte de ligação para a Educação Ambiental. Esta, por sua vez, tem a finalidade de intermediar o vínculo entre o homem e o meio ambiente, agindo de maneira que o processamento ocorra harmonicamente. A intervenção é desempenhada por meio da composição de mecanismos educacionais aliados às práticas ambientais, abrangendo um amplo número de pessoas. A Modelagem Matemática apresenta-se como uma ferramenta eficaz no processo, tendo em vista que proporciona a aplicabilidade de assuntos abordados em tópicos da matemática, colocando-os em um contexto distinto: resolução de situações do cotidiano. Os modelos matemáticos detêm a capacidade de legitimar o objeto de estudo levantado e, além disso, obtêm a atenção do público de interesse. Assim, podem ser utilizados na sensibilização dos indivíduos acerca da forma de atuação antrópica sobre a natureza e seus recursos. Neste trabalho, usou-se o princípio da alometria e o modelo logístico para a validação da relação entre comprimento e peso da espécie *Oreochromis niloticus* (Tilápia do Nilo), com o objetivo de identificar o valor mínimo de comprimento para a captura, no intuito de posteriormente utilizá-lo na determinação de dinâmicas ambientais. O dado mensurado equivaleu a 46,3 centímetros. Portanto, os métodos são deliberativos, fornecendo os parâmetros necessários para a análise.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, Ensino e aprendizagem, Meio ambiente, Modelos matemáticos, Pesca.

INTRODUÇÃO

A relação homem-natureza é dada desde o princípio da humanidade, quando o ser humano ainda vivia como nômade, em busca das melhores condições de sobrevivência. A partir do momento que houve uma interrupção na mudança contínua de moradia, a utilização dos recursos naturais foi intensificada. O aumento significativo da população acarretou uma maior demanda desses recursos. Além disso, teve-se o descobrimento de inúmeras técnicas de exploração dos mesmos, bem como de suas funcionalidades (GIACOMETTI e DOMINSCHKE, 2018).

¹ Graduanda do Curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, annapordeus@hotmail.com;

² Doutora em Agronomia/Fitopatologia. Docente do Departamento de Engenharias e Tecnologia do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros – UFERSA, janaina.cortez@ufersa.com.br;

³ Professor orientador: Doutor em Engenharia Elétrica. Docente do Departamento de Ciências Exatas e Naturais do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros – UFERSA, otavioplavor@gmail.com.



Borsato e Souza Filho (2004) afirmam que a eclosão do problema máximo se deu com a chegada da Revolução Industrial, tendo em vista que o objetivo principal das atividades antrópicas sobre o meio ambiente era atender aos desejos socioeconômicos, não medindo consequências futuras. O desenvolvimento da área urbana foi altamente influenciado, provocando sucessivas construções de fábricas e moradias, ou seja, domínio do espaço natural, além dos efeitos causados. Assim, a preservação e renovação dos recursos naturais não foram consideradas tão relevantes quanto à necessidade (por demanda ou consumismo) dos seus usos, tornando cada vez mais visíveis as alterações das paisagens e seus elementos.

Em meados dos anos 70, houve uma sensibilização perante os fatos relacionados ao meio ambiente. Tornavam-se cada vez mais evidentes as consequências da atividade antrópica sobre a natureza. Mediante o uso extrapolado dos recursos à disposição, apropriação de espaços físicos, extinção de espécies, o homem vinha fixando sua marca negativa na esfera natural. Assim, deu-se início à inserção de políticas ambientais, no intuito de propagar a sustentabilidade nos mais diversos âmbitos, como forma de garantir a disponibilidade dos recursos da natureza às gerações futuras, como afirma o autor a seguir.

A questão ecológica tomou forma e volume e entrou na ordem do discurso sócio-cultural a partir de uma recente tomada de consciência sobre a íntima relação entre vida e ações humanas. As agressões ao meio ambiente poderão provocar danos irreparáveis, o que já estamos sentindo no século que está iniciando. O esgotamento de recursos naturais, dentre eles as fontes energéticas, colocam em risco a sobrevivência da humanidade (REIS, 2005).

Segundo Narciso (2009), apesar de ser o principal responsável pelos danos ambientais recorrentes, que são concernentes às atitudes exacerbadas, o ser humano está em uma constante busca de melhoria na forma de agir. A Educação Ambiental, desde o seu início, já alcançou patamares surpreendentes, destituindo o posto de algo utópico. Entretanto, estes ainda estão distantes do que é preciso para atingir o equilíbrio entre a natureza e as atividades antrópicas.

Tendo em vista que Educação Ambiental não pode ser trabalhada como uma disciplina na educação formal, por não permitir a formação da visão crítica e da consciência ambiental e, por conseguinte, transformação, é fundamental motivar mudanças no processo ensino-aprendizagem, alicerçando-se nos princípios da educação libertadora (SANTOS; SILVA, 2011).

De acordo com as autoras, esse tema é fundamental para reverter à situação atual de instabilidade ecológica, almejando o uso dos recursos naturais de forma sustentável, minimizando os impactos e prezando pela conservação das fontes dos mesmos.

As questões abordadas anteriormente possibilitaram uma mudança comportamental em alguns administradores, os quais ficaram susceptíveis a aplicar a conservação dos recursos naturais, já que essas são as matérias-primas necessárias para sua subsistência e fonte de renda,



necessitando então da perpetuação das mesmas. Além do mais, há uma ampla gama de informações acerca do desenvolvimento sustentável, que estão ao dispor dos consumidores, tornando-os mais exigentes quanto a esse fato. Dessa maneira, é notória a necessidade de metodologias que possam auxiliar os gestores nesse manejo racional na altura de ecossistema (CONSTANZA; VOINOV, 2001).

Rapelli (2019) reitera que os seres humanos são os próprios responsáveis pela escolha do método de visualização do meio ambiente, dispondo de uma quantidade restrita de opções para seguir: preservação e mantimento do meio de vivência ou assolação do mesmo. Há ainda um destaque para o desfecho da sua própria espécie, se não for priorizada a primeira possibilidade, tendo como produto a sua extinção. O autor complementa seu pensamento enfatizando a importância de novas ferramentas para a abordagem de assuntos pertinentes, expondo, na prática, o exemplo da Modelagem Matemática e sua relação com a Educação Ambiental, que gera uma nova perspectiva de mundo.

As atividades pesqueiras são vigorosos exemplos da interferência do homem sobre a natureza. Além de ser fonte de subsistência e lazer, a pesca apresenta um mercado extenso, mostrando-se favorável à economia. As tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), foco desse trabalho, estão na posição de peixe mais cultivado no Brasil. Sua progressiva produção representa magnitude na aquicultura do país. Aproximadamente 219 mil toneladas foram abatidas e vendidas, em 2015, movimentando R\$ 1,177 bilhão. Há ainda um destaque na comercialização externa, chegando a valores como US\$ 1,5 milhão (OLIVEIRA, 2016).

A tilápia do Nilo é oriunda da África, o que explica sua nomenclatura, e em 1970 foi implantada em tanques da região nordestina brasileira. Em um curto período de tempo ocorreu sua expansão por todo o país. A espécie foi responsável pela taxa crescente da piscicultura mundial, visto que é dotada de características vantajosas para criação: versatilidade, adequando-se ao tipo de cultivo que for empregado e ao ambiente que for inserida; destituída de espinhos em formato de Y, e suas propriedades organolépticas, conquistando a atenção do comercializadores; baixo custo de produção (MEURER *et al.*, 2002).

Uma vez controlada a intensidade de sua propagação, torna-se uma das espécies mais recomendadas para a piscicultura em virtude de adaptar-se facilmente às práticas de manejo alimentar e também por tolerar altas densidades de estocagem em sistemas intensivos de criação, como em tanques rede (MARENGONI, 2006).

Nos dias de hoje, o pescado é tido como a fonte principal de alimento de proteína animal para um bilhão de pessoas da população mundial, sendo ainda fonte de 20% da proteína inclusa na alimentação de outros 20% (URBINATI; CARNEIRO, 2004).

Tabela 1- Valores médios para comprimento e peso da *Oreochromis Niloticus*

Comprimento	Peso
-------------	------



(centímetros)	(gramas)
11	26
15	59,5
17,4	105,4
20,5	200
22,7	239,5
25,3	364,3
27,4	421,7
28	476
29,3	488,2

Fonte: FRIZZO e STEFFENS, 2002.

Segundo Lazzaretti (2004), outros fatos, além do impulsionamento econômico, devem ser manipulados com cautela, privilegiando o meio natural e o desenvolvimento sustentável. Tem-se juntamente um alerta sobre a análise econômica, onde esta deve basear-se em um modelo teórico produzido pela economia ambiental neoclássica, no seu segmento voltado para a garantia futura dos recursos naturais.

Nesse contexto, o autor afirma ainda que há uma busca contínua pela maximização do bem-estar, ocorrendo quando os mercados alcançam um nível de alocação de recursos escassos, mantendo um equilíbrio no meio e, simultaneamente, obtendo a classificação de eficiência. No entanto, se existem falhas, como no caso da desproporcionalidade entre oferta e demanda, uma das partes constituintes do processo estará em desvantagem, tornando-o ineficiente. A degradação do produto, ligada à pesca extrativa, está inclusa nas falhas do mercado.

A Modelagem Matemática se apresenta como um mecanismo benéfico, nessas condições, dado que estabelece uma ligação entre a Matemática e outras ciências, sendo possível moldar eventos na realidade (LEITE; FERREIRA; SCRICH, 2009).

As autoras juntamente evidenciaram a delicada parte do processo: a priorização das espécies. É de extrema importância adotar e seguir medidas preventivas para que o procedimento de apreensão dos animais não interfira no seu crescimento populacional. O Programa Nacional de Desenvolvimento da Pesca Amadora (PNDPA) comandado pelo IBAMA foi estabelecido no intuito de destacar a atividade pesqueira como unidade da esfera social, econômica, turística e industrial, sobretudo, mantendo uma linha conservativa do meio ambiente e objetivando a normatização de uma série de critérios a serem seguidos: tamanho mínimo para a captura, tabelas de cotas para captura, entre outros.

Em completividade, Chaves, Azeredo e Pinheiro (2017), evidenciam a delimitação do tamanho máximo de captura das espécies de peixes visando à conservação dos reprodutores



apontados como preferíveis. A afirmação dos autores fundamenta-se na relação entre o tamanho das fêmeas, a sua extensão ovacitária e o respectivo grau de fecundidade, uma vez que um significativo número de espécies possui fêmeas, de tamanhos elevados, exponencialmente mais férteis, quando comparadas às que compreendem uma dimensão menor. A Instrução Normativa MPA/MMA 09/2012 objetiva um amplo alcance desse tipo de pesquisa, voltando-a para os peixes brasileiros estimados na atividade pesqueira. Pode-se assim ressaltar que a aplicação é de interesse mútuo, já que favorece o estoque e a conservação das espécies, por meio da disposição dos parâmetros cruciais.

Souza e Freitas (2009) afirmam que a modelagem é um método válido na representação quantitativa do andamento do ecossistema, reunindo um agrupamento de técnicas que proporcionam a montagem da conjuntura produzida pelas modificações do meio, sejam elas naturais e/ou antrópicas. Essas técnicas manifestam-se como uma proposta positiva para os sistemas pesqueiros, levando em consideração os efeitos que sua prática pode ocasionar.

A seguir, diante do exposto, serão empregados modelos matemáticos (princípio da alometria e modelo logístico) na determinação de parâmetros ideais referentes à captura da tilápia do Nilo.

METODOLOGIA

A Modelagem consiste em um procedimento iniciado com a elaboração de um diagrama de repartições, sendo esse correspondente às seções do sistema. O modelo copia o mundo real facultando a formação de hipóteses a respeito do objeto de pesquisa ou meio em pauta, abrindo horizontes para responder aos questionamentos em médio ou curto prazo. Nessa metodologia diversas possibilidades de perturbações podem ser usufruídas durante o processo, correspondendo às infinitas experimentações (ODUM, 1998).

O princípio da alometria correlaciona o crescimento dos órgãos do corpo de um mesmo organismo com o tempo, tendo como resposta que a razão entre esses crescimentos relativos é constante. A empregabilidade desse preceito tem como função associar o comprimento e o peso de acordo com os dados listados na Tabela 1. Sendo $C(t)$ e $P(t)$, respectivamente, o comprimento e o peso dos órgãos ou outras partes do corpo de um único peixe em um determinado período t , estes sequenciam uma relação alométrica constituída por uma equação diferencial:

$$\frac{1}{P} \frac{dP}{dt} = \alpha \frac{1}{C} \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

Efetuada uma manipulação da equação (1), onde $P(t)$ e $C(t)$ são maiores que zero e α é o coeficiente de alometria, tem-se:



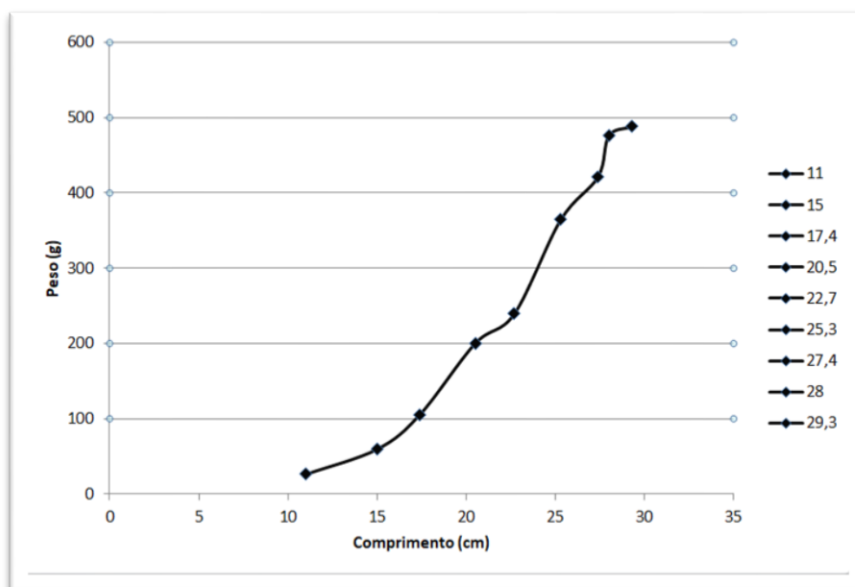
$$\int \frac{dP}{P} = \alpha \int \frac{dC}{C}$$

$$\ln P = \alpha \ln C + a \quad (2)$$

Aplicando a exponencial em ambos os lados da equação (2), obtém-se a relação alométrica:

$$P = aC^\alpha.$$

Figura 1 – Relação alométrica para *Oreochromis niloticus*



Fonte: Autores, 2020.

O modelo logístico de dinâmica populacional é apoiado na tese do crescimento acelerado das populações que, ao aproximarem-se de uma quantidade grandiosa, têm essa vertente interrompida pela interação existente entre seus integrantes e tornam a ordem estática (equilíbrio imposto). Esse modelo de crescimento limitado é altamente simples para a manipulação de dados, enquadrando um fator limitante e, por consequência, fazendo com que ocorra uma estabilização de um dos critérios. Nesse caso, o indicador que se mantém é o peso, permanecendo em seu valor máximo. O modelo logístico é descrito a partir de uma equação diferencial abaixo (BASSANEZI, 2002):

$$\int \frac{dP}{dt} = rP \left(1 - \frac{P}{P_{MÁX}} \right)$$

sendo $r > 0$ e $P_{MÁX}$ o maior peso atingido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da relação alométrica entre peso e comprimento obtida ($P = aC^\alpha$), faz-se necessário encontrar o valor de cada um dos parâmetros (a e α). Assim, na tabela 1, escolhem-se dois valores dos dados e aplica-os, realizando substituições. Levando em consideração as duas primeiras posições da tabela, tem-se que:



$$26 = a11^\alpha \text{ (I)}$$

$$59,5 = a15^\alpha \text{ (II)}$$

E resolvendo o sistema formado por I e II, os seguintes passos foram desenvolvidos:

$$a = \frac{26}{11^\alpha} \text{ (III)}$$

Logo,

$$\frac{59,5}{26} = \frac{15^\alpha}{11^\alpha}$$

$$(1,3636)^\alpha = 2,2885$$

$$\ln [(1,3636)^\alpha = 2,2885]$$

$$\ln(1,3636)\alpha = \ln(2,2885)$$

$$\alpha = \frac{\ln(2,2885)}{\ln(1,3636)}$$

$$\alpha = \frac{0,8279}{0,3101}$$

$$\alpha = 2,6695 \text{ (IV)}.$$

Efetuada a substituição de IV em III, obtém-se $a = 0,0431$ e, conseqüentemente, os dois parâmetros fundamentais para a continuidade das equações. Dessa forma, a aproximação do peso máximo pode ser aferida por meio de $P_{MÁX} = 0,0431C^{2,6695}$. Segundo Oliveira (2011) e a literatura, o comprimento máximo que a tilápia do Nilo pode atingir é de 60 centímetros. Aplicando essa medida na relação, o peso máximo encontrado equivale a 2405,8 gramas.

No modelo logístico, uma análise matemática aponta que a maior variação de crescimento $\frac{d^2P}{dt^2} = 0$ ocorre quando $P = \frac{PMÁX}{2}$. Deste modo, $P = 1202,9$ gramas. Inserindo esse resultado na relação do peso, tem-se que o comprimento é de 46,3 centímetros. Logo, se o peixe capturado apresentar um comprimento inferior ao valor obtido anteriormente, deve ser devolvido para o meio, não interferindo na reprodução e, conseqüentemente, no crescimento populacional da espécie.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exploração da temática ambiental viabilizou um estudo embasado em conteúdos matemáticos: derivadas, integrais, construção de gráficos, médias, equações diferenciais. De maneira eficaz, com todo o desenvolvimento, foi possível a obtenção de informações relevantes referentes à ação de captura das tilápias do Nilo, visando à garantia futura da espécie, que é o principal objetivo do desenvolvimento sustentável. Os dados encontrados são de grande valia, pois a literatura ainda encontra-se escassa no que diz respeito à espécie em questão com a pesquisa executada, podendo contribuir no enriquecimento de outros trabalhos.



A Modelagem Matemática tem diversas abordagens, o modelo escolhido depende da problemática em foco. O princípio da alometria e o modelo logístico foram eleitos para prosseguir o trabalho. Levaram-se em consideração alguns pontos, como, por exemplo, a definição de cada um e outros estudos realizados anteriormente. Vale salientar que não há método específico e que essa mesma situação poderia ter sido solucionada por meio de um modelo diferente dos preferidos. Além disso, diante da evolução do conhecimento, novos modelos e hipóteses têm potencial para surgirem, desmistificando a ideia de que a Matemática está pronta e obsoleta.

Unificando o que foi exposto, a Educação Ambiental coloca-se como mediadora na associação do homem com o meio ambiente, oportunizando para que ocorra pacificamente e seja um sistema benéfico para ambos os lados. Assim, é primordial a sua integração nas redes de ensino, onde, de modo dinâmico, é plausível colaborar com a construção do pensamento dos seus membros. De forma igualmente importante, é válido ressaltar a necessidade da transmissão dessa atividade no círculo dos indivíduos, promovendo a sensibilização destes, a criação de valores sociais e competências em prol da conservação do meio natural.

REFERÊNCIAS

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

BORSATO, V. A.; SOUZA FILHO, E. E. Ação antrópica, alterações nos geossistemas, variabilidade climática: contribuição ao problema. **Revista Formação**, v.2, n. 11, 2004.

CHAVES, P. T. C.; AZEREDO, F. G. A.; PINHEIRO, E. FECUNDIDADE DE PEIXES E TAMANHOS MÁXIMOS DE CAPTURA: INSTRUMENTO AUXILIAR À GESTÃO DE PESCA. **B. Inst. Pesca**, São Paulo, v. 43, ed. 4, p. 542-556, 2017.

CONSTANZA, R.; VOINOV, A. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. **Ecological Modelling**, Amsterdam, Elsevier Science. 143: 7p. 2001.

GIACOMETTI, K. de; DOMINSCHKE, D. L. Ações antrópicas e impactos ambientais: industrialização e globalização. **Caderno Intersaberes**, v. 7, n. 10, 2018.

LAZZARETTI, Ildonei. **CONSEQUÊNCIAS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS DA PESCA TURÍSTICA SOBRE A PESCA PROFISSIONAL NO MUNICÍPIO DE BARÃO DE MELGAÇO - MT**. Orientador: Professor Jorge Madeira Nogueira. 2004. 127 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

LEITE, M. B. F.; FERREIRA, D. H. L.; SCRICH, C. R. Explorando conteúdos matemáticos a partir de temas ambientais. **Ciência e Educação**, v.15, n. 1, p. 129-38, 2009.

MARENGONI, N. G. Produção de tilápia do nilo *oreochromis niloticus* (linhagem chitralada),



cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. *Archivos de Zootecnia*, v. 55, n. 210, p. 127-138, jun., 2006.

MEURER, F. *et al.* Lipídeos na Alimentação de Alevinos Revertidos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Rev. Bras. Zootec.**, v.31, n.2, Viçosa, 2002.

NARCIZO, K. R. S. Uma análise sobre a importância de trabalhar Educação Ambiental nas escolas. **Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.**, v. 22, jan./jul., 2009.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1988. 434 p. (Tradução de Basic Ecology.).

OLIVEIRA, A. M. S. Modelo da tilapicultura no Brasil. Aquidauana, MS, set., 2011.

OLIVEIRA, M. de. A vez da tilápia. **Revista Pesquisa FAPESP**, ed. 249, nov., 2016.

RAPELLI, O. J. **Modelagem Matemática e Educação Ambiental: Desenvolvimento de Fichas Ambientais para aplicação no Ensino Básico**. Orientador: José Antonio Salador. 2019. 119 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

REIS, H. B. C. **Os impactos da globalização sobre o meio ambiente: uma introdução à análise da Comunicação Social**. *Revista Contemporânea*, n. 4, p. 170-171, 2005.

SANTOS, N. L.; SILVA, M. M. P. da. Por que Educação Ambiental não tem alcançado mudanças significativas na sociedade contemporânea? Uma análise de artigos publicados em eventos científicos no Brasil de 2005 a 2010. **Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.**, v. 27, jul./dez , 2011.

SOUZA, L. A. de; FREITAS, C. E. C. Uma Proposta de Protocolo para a Obtenção de Variáveis Visando Estudos de Modelagem Ecológica em Sistemas Pesqueiros Fluviais da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 1, p. 237-240, 2009.

URBINATI, E.; CARNEIRO, P. Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**, p. 171-193, 2004.