

MARCELO SÁ

# LIMNOCULTURA

Limnologia para aquicultura



**Blucher**

2ª edição

Marcelo Sá

# LIMNOCULTURA

Limnologia para aquicultura

2ª edição

Revista e ampliada

*Limnocultura: limnologia para aquicultura*

© 2012 Marcelo Sá

1ª edição – Editora da Universidade Federal do Ceará (UFC)

2ª edição – Editora Blucher, 2023

Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher

*Editores* Eduardo Blücher e Jonatas Eliakim

*Coordenação editorial* Andressa Lira

*Produção editorial* Kedma Marques

*Preparação de texto* Gabriela Castro

*Diagramação* Roberta Pereira de Paula

*Revisão de texto* Lidiane Pedroso Gonçalves

*Capa* Laércio Flenic

*Imagem da capa* Darryl Jory, Ph.D., Seafood Value Chain Consultant

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

[contato@blucher.com.br](mailto:contato@blucher.com.br)

[www.blucher.com.br](http://www.blucher.com.br)

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Sá, Marcelo

*Limnocultura : limnologia para aquicultura /*  
Marcelo Sá. – 2. ed. rev. e ampl. – São Paulo :  
Blucher, 2023.

346 p.

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-601-2

1. Limnologia 2. Aquicultura I. Título

23-3484

CDD 577.6

Índices para catálogo sistemático:

1. Limnologia

# CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO À LIMNOCULTURA: LIMNOLOGIA PARA AQUICULTURA</b>	<b>17</b>
1.1 Aquicultura no mundo	17
1.2 Aquicultura no Brasil	19
1.3 Limnocultura: limnologia para aquicultura	21
<b>2. OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA</b>	<b>23</b>
2.1 Importância da concentração de oxigênio dissolvido na água para aquicultura	23
2.2 Solubilidade do O <sub>2</sub> na água	25
2.3 Variação nictimeral da concentração de oxigênio dissolvido na água	26
2.4 Variação da concentração de oxigênio dissolvido na água em função da profundidade	27
2.5 Monitoramento das concentrações de oxigênio dissolvido em tanques de aquicultura	29
2.6 Prevenção de níveis críticos de oxigênio dissolvido em tanques de aquicultura	30

2.7	Supersaturação da água com O <sub>2</sub>	33
2.8	Concentração de O <sub>2</sub> em efluentes de aquicultura	34
	Resumo	34
<b>3.</b>	<b>PH DA ÁGUA</b>	<b>37</b>
3.1	Conceito de pH da água	37
3.2	pH da água e vida aquática	39
3.3	Acidez das águas naturais e de cultivo	42
3.4	Calagem em aquicultura	43
3.5	Águas de cultivo com pH muito alto	47
3.6	Monitoramento e determinação do pH da água	47
	Resumo	53
<b>4.</b>	<b>DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) LIVRE NA ÁGUA</b>	<b>55</b>
4.1	Introdução	55
4.2	Interrelações entre dióxido de carbono livre, bicarbonato e carbonato	58
4.3	Geoquímica da bacia de drenagem e dióxido de carbono livre	59
4.4	Relação inversa entre oxigênio dissolvido e dióxido de carbono livre	60
4.5	Dióxido de carbono livre na água e na aquicultura	60
4.6	Sequestro de carbono pela aquicultura	65
4.7	Determinação da concentração de dióxido de carbono na água	67
	Resumo	69
<b>5.</b>	<b>ALCALINIDADE DA ÁGUA</b>	<b>71</b>
5.1	Introdução	71
5.2	Benefícios da alcalinidade para o ecossistema aquático	72
5.3	Alcalinidade das águas naturais	74

5.4	Alcalinidade da água de tanques de cultivo de peixes e camarões	76
5.5	Alcalinidade da água de transporte de pós-larvas e alevinos	77
5.6	Efeitos da alcalinidade da água sobre a ação algicida do cobre	77
5.7	Determinação da alcalinidade da água	78
	Resumo	84
<b>6.</b>	<b>DUREZA DA ÁGUA</b>	<b>85</b>
6.1	Conceito de dureza total da água	85
6.2	Importância do cálcio e magnésio para vida aquática	86
6.3	Recomendações de dureza total, cálcio e magnésio para aquicultura	86
6.4	Desequilíbrios da dureza da água	87
6.5	Ajuste da dureza magnésiana de águas interiores	88
6.6	Relação entre dureza e alcalinidade da água	92
6.7	Relação entre dureza e pH da água	94
6.8	Determinação da dureza total e dureza cálcica da água	95
	Resumo	98
<b>7.</b>	<b>AMÔNIA NA ÁGUA</b>	<b>101</b>
7.1	Definição de amônia	101
7.2	Ciclo do N em tanques e viveiros de aquicultura	102
7.3	Fontes e sumidouros de amônia em tanques de aquicultura	105
7.4	Formas de amônia na água e fatores que afetam suas proporções	110
7.5	Toxicidade da amônia para peixes e camarões	113
7.6	Como prevenir e remediar concentrações elevadas de amônia em tanques e viveiros de aquicultura	114
7.7	Efeitos da fertilização, aeração e calagem na concentração de amônia na água	118

7.8	Impacto ambiental de efluentes ricos em amônia	120
7.9	Determinação da concentração de amônia na água	121
	Resumo	124
<b>8.</b>	<b>NITRITO NA ÁGUA</b>	<b>127</b>
8.1	O que é nitrito?	127
8.2	Nitrito e ácido nitroso	129
8.3	Efeitos de elevadas concentrações de nitrito em peixes	130
8.4	Efeitos de elevadas concentrações de nitrito em camarões	133
8.5	Fatores climáticos e ambientais que contribuem para a toxicidade do nitrito	133
8.6	Prevenção e controle do estresse animal pelo nitrito	134
8.7	Nitrito em tanques com bioflocos	138
8.8	Probióticos e nitrito	139
8.9	Determinação da concentração de nitrito na água	140
	Resumo	142
<b>9.</b>	<b>NITRATO NA ÁGUA</b>	<b>143</b>
9.1	Introdução	143
9.2	Toxicidade do nitrato para peixes e camarões	147
9.3	Redução da concentração de nitrato em tanques de aquicultura	150
9.4	Determinação da concentração de nitrato em amostras de água	152
	Resumo	156
<b>10.</b>	<b>FÓSFORO NA ÁGUA</b>	<b>159</b>
10.1	Importância e escassez de fósforo na água	159
10.2	Formas e transformações de fósforo na água	162
10.3	O problema da precipitação do fósforo	163

10.4	Concentração de fósforo total como indicador de qualidade de água	165
10.5	Aproveitamento do fósforo na aquicultura	167
10.6	Fósforo e eutrofização	168
10.7	Determinação da concentração de ortofosfato e fósforo total em amostras de água	171
	Resumo	177
<b>11.</b>	<b>CAPACIDADE DE SUPORTE EM AQUICULTURA</b>	<b>179</b>
11.1	Conceito de capacidade de suporte em aquicultura	179
11.2	O papel de destaque da nutrição na capacidade de suporte aquícola	182
11.3	Elevação da capacidade de suporte aquícola	185
11.4	Modelo teórico de capacidade de suporte	186
11.5	Cálculo simplificado da capacidade de suporte e da máxima biomassa sustentável em aquicultura	187
	Resumo	197
<b>12.</b>	<b>MATÉRIA ORGÂNICA NA ÁGUA</b>	<b>199</b>
12.1	Introdução	199
12.2	Determinação da concentração de matéria orgânica em amostras de água	200
12.3	Quantificação da concentração de matéria orgânica em amostras de água por métodos indiretos	201
	Resumo	217
<b>13.</b>	<b>PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA FITOPLANCTÔNICA</b>	<b>219</b>
13.1	Introdução	219
13.2	Determinação da produtividade primária fitoplanctônica	227
	Resumo	236



<b>14. GÁS SULFÍDRICO NA ÁGUA</b>	<b>239</b>
14.1 Introdução	239
14.2 Controle da concentração de gás sulfídrico em aquicultura	247
14.3 Teste rápido para detectar sulfetos na água	252
Resumo	253
<b>15. FERRO NA ÁGUA</b>	<b>255</b>
15.1 Introdução	255
15.2 Dinâmica do ferro na água e nos sedimentos	258
15.3 Malefícios do excesso de ferro para a vida aquática	260
15.4 Manejos para reduzir a concentração de ferro na água	262
15.4 Fertilização férrica em aquicultura	264
15.5 Controle da concentração de gás sulfídrico pela aplicação de compostos ferrosos	264
15.6 Tratamento de efluentes aquícolas com ferro	266
15.7 Pirita de ferro, capa rosa e ácido sulfúrico	267
15.8 Monitoramento da concentração de ferro dissolvido na água	268
15.9 Determinação da concentração de ferro dissolvido em amostras de água	269
Resumo	271
<b>16. SALINIDADE DA ÁGUA</b>	<b>273</b>
16.1 Introdução	273
16.2 Salinidade da água e ponto isosmótico	275
16.3 <i>Oreochromis</i> e salinidade da água	278
16.4 <i>Litopenaeus vannamei</i> e salinidade da água	279
16.5 Efeitos da salinidade sobre outras variáveis de qualidade de água	282
16.6 Métodos para determinação da salinidade da água	285
Resumo	289

<b>17. RELAÇÃO C:N E QUALIDADE DE ÁGUA NA AQUICULTURA</b>	<b>291</b>
17.1 Introdução	291
17.2 Relação C:N em aquicultura	293
17.3 Sistema autotrófico versus BFT para aquicultura	309
17.4 Vantagens e limitações dos sistemas BFT para aquicultura	315
17.5 Sistemas BFT para aquicultura comercial	319
Resumo	321
<b>18. BALANCEAMENTO IÔNICO DA ÁGUA DE CRIAÇÃO DO CAMARÃO MARINHO</b>	<b>323</b>
18.1 Introdução	323
18.2 Regulação osmótica do camarão marinho em águas oligohalinas	324
18.3 Balanço iônico de águas interiores utilizadas na carcinicultura marinha	328
18.4 Impacto ambiental da criação do camarão marinho em águas interiores	337
Resumo	337
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>339</b>

# CAPÍTULO 1

## Introdução à limnocultura: limnologia para aquicultura

### 1.1 AQUICULTURA NO MUNDO

Aquicultura é o cultivo ou criação de organismos aquáticos de interesse para o ser humano, como peixes, camarões, ostras, mexilhões, algas etc. Um dos principais objetivos da aquicultura é a produção de pescado – ou melhor, “despescado” –, de alto valor nutritivo e com biossegurança para o consumo humano. Portanto, além de importante atividade econômica, que gera emprego e renda para milhões de pessoas, a aquicultura tem ainda destacado papel social por contribuir, significativamente, com a segurança alimentar da população, sobretudo nas regiões mais carentes. Destaca-se também o importante papel econômico desempenhado pela aquicultura ornamental.

A aquicultura emprega muitas pessoas com baixo grau de escolaridade, a maioria proveniente de áreas rurais. Com isso, a aquicultura insere no mercado de trabalho, uma fatia considerável da população que se encontrava anteriormente marginalizada. A FAO (2022) estima que 20 milhões de pessoas no mundo trabalham na aquicultura. Destes, 21% são mulheres; quando se considera apenas o setor de processamento do pescado, a participação das mulheres salta para 50%.

As práticas aquícolas, quando realizadas de acordo com as melhores orientações técnicas, são ambientalmente corretas, ou seja, têm um impacto mínimo no meio no qual se inserem. A aquicultura responsável é, portanto, sustentável do prisma econômico, social e ambiental. Nos países desenvolvidos, os consumidores de pescado exigem que o produto comercializado tenha não apenas alta qualidade nutricional e biossegurança,

mas também que tenha sido obtido em sistemas sustentáveis de produção, tanto do ponto de vista ambiental como do social.

Enquanto a produção pesqueira mundial cresceu apenas 1,6% entre 1990 e 2020, a aquicultura cresceu mais de 300%. Nesse mesmo período, o consumo de pescado se elevou mais de 40%. Quase metade de todo o pescado produzido no mundo, em 2020, foi proveniente da aquicultura e, muito em breve, a produção aquícola ultrapassará a produção pesqueira (FAO, 2022). A pesca mundial já atingiu seu patamar máximo no quesito sustentabilidade, que está próximo de 100 milhões de toneladas/ano. Portanto, incrementos significativos na produção de pescado somente serão possíveis a partir da aquicultura. Apesar de a produção aquícola mundial já ser considerável, existe ainda grande espaço para seu crescimento, tendo em vista a enorme demanda reprimida por pescado de alta qualidade.

Em 2020, a aquicultura produziu 87,5 milhões de toneladas de animais aquáticos, distribuídos da seguinte forma: 56% pela piscicultura continental; 21% pela malacocultura; 3,5% pela piscicultura marinha; 7% pela carcinicultura marinha; e 5% pela carcinicultura interior (FAO, 2022). O destaque fica para a força da malacocultura e o surpreendente crescimento da carcinicultura interior, que encostou na carcinicultura marinha.

De longe, a China é o maior produtor mundial em aquicultura, tendo produzido 50 milhões de toneladas de animais aquáticos em 2020. Além dela, compõem o *top five* da aquicultura mundial a Índia (9 milhões t), a Indonésia (5 milhões t), o Vietnã (4,6 milhões t) e Bangladesh (2,6 milhões t). Apesar de seu grande potencial, o Brasil é apenas o 13º na lista, tendo produzido 630 mil toneladas de peixes e camarões.<sup>1</sup> A FAO (2020) projeta que a produção aquícola brasileira será de 750 mil toneladas em 2030.

Mais de 60% da produção aquícola mundial é proveniente do cultivo em águas interiores. Em 2020, foram produzidas 49 milhões de toneladas de peixes de água doce (carpas e tilápias) e diádromos (salmões, *milkfish*, trutas e enguias); 17,5 milhões de toneladas de moluscos (ostras, mexilhões e vieiras), 11,2 milhões de toneladas de crustáceos (camarões e pitus) e apenas 8,3 milhões de toneladas de peixes marinhos (linguados e bacalhau).

As cinco espécies de peixes mais produzidas pela aquicultura mundial naquele ano foram as seguintes:

- 1) Carpa-capim (*Ctenopharyngodon idellus*): 5,7 milhões de toneladas;
- 2) Carpa-prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*): 4,8 milhões de toneladas;
- 3) Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): 4,4 milhões de toneladas;
- 4) Carpa-comum (*Cyprinus carpio*): 4,2 milhões de toneladas;
- 5) Catla (*Catla catla*): 3,5 milhões de toneladas.

<sup>1</sup> Em 2010, o Brasil havia produzido 480 mil t de pescado e ocupava a 17ª posição no *ranking*. Fonte: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/estatistica/est\\_2011\\_bol\\_\\_bra.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/estatistica/est_2011_bol__bra.pdf)>

As cinco espécies de crustáceos mais produzidas pela aquicultura mundial foram as seguintes:

- 1) Camarão-branco-do-Pacífico (*Litopenaeus vannamei*): 5,8 milhões de toneladas;
- 2) Lagostim-vermelho-da-Louisiana (*Procambarus clarkii*): 2,5 milhões de toneladas;
- 3) Caranguejo-de-Shanghai (*Eriocheir sinensis*): 775 mil toneladas;
- 4) Camarão-tigre, (*Penaes monodon*): 717 mil toneladas;
- 5) Camarão-gigante-da-Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*): 294 mil toneladas.

O principal sistema de cultivo empregado na aquicultura é a criação semi-intensiva de peixes e camarões em viveiros escavados no solo. Em seguida, destaca-se a piscicultura realizada em reservatórios artificiais, isto é, represas e açudes, e em baías com a utilização de tanques-redes. Os cultivos em tanques *raceways*, em sistemas de recirculação de água, são utilizados na criação intensiva de camarões e peixes marinhos.

Na Ásia, a milenar rizipiscicultura, isto é, a integração da piscicultura com o cultivo do arroz irrigado, continua forte e com participação expressiva na produção. Outras formas de integração da aquicultura com a agricultura também têm se expandido, com o desenvolvimento de sistemas de aquaponia, que associam a aquicultura à hidroponia. Finalmente, existe grande interesse nos sistemas BFT (*biofloc technology*) para aquicultura, que permitem a obtenção de elevadas produtividades com sustentabilidade ambiental.

## 1.2 AQUICULTURA NO BRASIL

Em 2020, a aquicultura brasileira produziu quase 552 mil toneladas de peixes e camarões,<sup>2</sup> um aumento de 4,3% em relação ao ano anterior (IBGE, 2021). As 10 principais espécies de peixe de água doce cultivadas comercialmente no Brasil em 2020, em ordem decrescente, foram as seguintes:

- 1) Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), criada em todas as regiões do Brasil, exceto na região Norte, com 343.595 toneladas (62,3% da produção aquícola total);
- 2) Tambaqui (*Colossoma macropomum*) e seus híbridos (tambacu, tambatinga), criados nas regiões Norte e Centro-Oeste, com 143.959 toneladas (26,1%);

---

<sup>2</sup> Existe uma pequena diferença entre a estatística da FAO (2022) e do IBGE (2021) para produção da aquicultura brasileira em 2020. Enquanto a FAO estimou uma produção de 630 mil toneladas naquele ano, o IBGE apontou 552 mil toneladas.

- 3) Carpas chinesas (*Cyprinus carpio*, *Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *H. nobilis*), criadas na região Sul, com 17.011 toneladas (3,1%);
- 4) Pintados (*Pseudoplatystoma corruscans*, cachara, *Pseudoplatystoma fasciatum*) e seus híbridos (cachapira, pintachara), criados nas regiões Norte e Centro-Oeste, com 11.621 toneladas (2,1%);
- 5) Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e seu híbrido patinga, criados nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, com 11.089 toneladas (2%);
- 6) Matrinxã (*Brycon cephalus*), criada nas regiões Norte e Centro-Oeste, com 3.590 toneladas (0,65%);
- 7) Outros *Brycon*, como a piabanha (*Brycon insignis*) e a piraicanjuba (*Brycon orbignyanus*), criadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com 3.531 toneladas (0,64%);
- 8) Curimatã e curimatã (*Prochilodus* spp.), criadas em todas as regiões do Brasil, com 3.215 toneladas (0,58%);
- 9) Piau (*Leporinus piau*), piapara (*L. elongatus*) piauçu (*L. macrocephalus*) e piava (*L. obtusidens*), criados em todas as regiões do Brasil, com 2.939 toneladas (0,53%);
- 10) Truta-arco-íris (*Onchorynchus mykiss*), criada no Sul do Brasil, com 2.109 toneladas (0,38%).

Em 2020, os estados brasileiros com maior produção de peixe em cativeiro foram Paraná (25,4%), São Paulo (10%) e Rondônia (8,7%). O estado do Paraná se destacou no cenário nacional como o maior produtor de tilápia, responsável por quase 40% da produção nacional, e próximo de 140 mil toneladas. Na produção do tambaqui, o destaque ficou para o estado de Rondônia, que despescou quase 40 mil toneladas, uma participação de 39% no mercado nacional do *Colossoma*.

A carcinicultura comercial brasileira está baseada na criação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. Quase a totalidade da produção (99,6%) é realizada na região Nordeste, sendo os estados do Rio Grande do Norte (34,8%) e Ceará (33,2%) os maiores produtores nacionais. Em 2020, foram despescados dos viveiros nacionais 63,2 mil toneladas de camarão, um crescimento de 14,1% em relação ao ano anterior. O município de Aracati, no Ceará, se destacou naquele ano como o maior produtor de camarão em cativeiro no Brasil, tendo despescado 3,9 mil toneladas desse crustáceo (IBGE, 2021). Logo em seguida, aparece o município de Pendências, no Rio Grande do Norte, com 3,7 mil toneladas.

Em 2016, o setor da carcinicultura brasileira foi fortemente impactado pela doença da mancha branca, virose que leva à morte do animal e que provocou a queda de quase 60% na produção de camarão. Após o susto inicial, os produtores adotaram as medidas necessárias para a convivência pacífica com o vírus, o que trouxe a carcini-

cultura nacional de volta ao crescimento. Entre as medidas tomadas, destaca-se a cobertura dos viveiros de produção com estufa agrícola. Estudos realizados no Equador mostraram que os camarões são mais resistentes ao vírus da mancha branca quando mantidos em águas mais quentes, acima de 31 °C, pois isso aumenta significativamente o número de hemócitos na hemolinfa do animal, que são as células de defesa do organismo.

De importância econômica, podemos citar ainda o cultivo de ostras, vieiras e mexilhões no estado de Santa Catarina. Em 2020, foram despesçadas 14.297 t de moluscos das águas catarinenses, o que representou uma queda de 35% em relação ao produzido em 2014, por razões climatológicas e oceanográficas. A principal espécie cultivada é o mexilhão *Perna perna* que, em Santa Catarina, é produzido majoritariamente no município de Penha (IBGE, 2021).

### 1.3 LIMNOCULTURA: LIMNOLOGIA PARA AQUICULTURA

Limnologia é a ciência que estuda os ecossistemas aquáticos continentais, isto é, lagos, lagoas, alagados, brejos, rios, riachos, represas, açudes, águas subterrâneas, tanques e viveiros de aquicultura, nos seus aspectos físicos, químicos e biológicos, de forma integrada, visando preservá-los e utilizá-los racionalmente. A limnologia, portanto, é a ecologia das águas interiores. Os estudos limnológicos têm por objetivo assegurar que os ecossistemas aquáticos continentais tenham múltiplos usos, como fonte de água para consumo humano, consumo animal e agricultura, lazer, aquicultura e pesca etc. Logo, a limnologia fornece os subsídios teóricos e práticos necessários para utilização racional dos ecossistemas aquáticos continentais pela humanidade. Dessa forma, a limnologia pode contribuir significativamente para a melhoria da qualidade de vida da população. Embora grande parte das águas interiores tenha salinidade baixa, a limnologia não estuda somente águas doces, como se poderia pensar, mas sim qualquer corpo de água que esteja localizado dentro do continente, independentemente de sua dimensão, origem e salinidade.

Atualmente, os resultados dos estudos limnológicos se revestem de grande importância, porque há crescente preocupação quanto à qualidade de nossas águas continentais. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), órgão do Ministério do Meio Ambiente responsável pelo uso sustentável da água no Brasil, estima que a demanda de água tratada, necessária para atender apenas ao abastecimento urbano, será de 630 m<sup>3</sup>/s em 2025. Para se ter a dimensão disso, as estações de tratamento de água da Sabesp, Companhia de Água e Esgoto do Estado de São Paulo, fornecem 111 m<sup>3</sup>/s de água tratada. Portanto, o Brasil deveria possuir, em 2025, quase seis Sabesps, trabalhando intensamente para atender à demanda por água apenas para consumo humano.

Há bastante tempo as atividades humanas, tanto as urbanas como as rurais, vêm impactando fortemente os ecossistemas aquáticos continentais, causando problemas crônicos, como a eutrofização e acidificação desses mananciais. O lançamento de

efluentes domésticos, agropecuários e industriais não tratados, causa sérios problemas ambientais nos corpos de água receptores. Em alguns casos, lagos e rios já se encontram em fase avançada de degradação ambiental, fazendo com que sua utilidade para as populações humanas seja mínima ou mesmo nula. Na Universidade Federal do Ceará (UFC), há um triste exemplo de um ecossistema aquático continental em estágio avançado de degradação: o açude Santo Anastácio, ou açude da Agronomia, cartão-postal do campus universitário do Pici, em Fortaleza. A degradação das fontes de água doce é uma questão bastante delicada porque as previsões sobre a relação de oferta e demanda de água tratada são alarmantes e toda atenção deve ser dada a esse tema.

Entre os ecossistemas aquáticos continentais, encontram-se aqueles utilizados pela aquicultura, como viveiros e tanques de peixe e camarão, além de açudes e represas utilizados para criação de peixes em tanques-redes. Os conhecimentos obtidos nas pesquisas limnológicas possibilitam o correto manejo desses ecossistemas, isto é, a produção de organismos aquáticos de forma sustentável, econômica, social e ambientalmente. Enquanto a limnologia estuda os ecossistemas aquáticos continentais, a aquicultura aplica as melhores tecnologias disponíveis no cultivo racional de peixes, camarões, moluscos e algas. Assim, a área do conhecimento humano que estuda os ecossistemas aquáticos continentais utilizados para aquicultura, com vistas à produção sustentável de pescado, é a *limnocultura*.

A qualidade da água e do solo têm grande influência na sobrevivência e crescimento dos organismos aquáticos cultivados. A concentração de oxigênio ( $O_2$ ) dissolvido, o pH, a salinidade, a concentração de compostos nitrogenados (amônia e nitrito) e de nutrientes (fósforo) afetam, positiva ou negativamente, o crescimento e a sanidade de peixes e camarões. Essas variáveis limnológicas influenciam fortemente a produtividade primária aquática, alterando, de modo expressivo, a densidade e a composição planctônica da água. O fitoplâncton, por sua vez, sobretudo quando em elevadas concentrações, é capaz de alterar importantes indicadores de qualidade de água, como  $O_2$  dissolvido e pH, que interferem decisivamente na vida dos animais aquáticos.

Somente com o monitoramento sistemático dos indicadores de qualidade de água e solo consegue-se manejar, de forma eficiente e racional, os corpos de água utilizados pela aquicultura. Portanto, as alterações físico-químicas e microbiológicas do ambiente aquático utilizado na criação de peixes, camarões e moluscos devem ser monitoradas e compreendidas, para que se possa produzir pescado de forma sustentável. Somente assim será possível prevenir e corrigir os desajustes limnológicos do meio de cultivo e criar melhores condições de água e de solo para obtenção de sucesso produtivo, sem que ocorra degradação ambiental.



## CAPÍTULO 2

# Oxigênio dissolvido na água

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA PARA AQUICULTURA

O oxigênio ( $O_2$ ) é a principal molécula utilizada pelos seres vivos para extrair energia química dos nutrientes. Esta energia será armazenada, por curto período, nas moléculas de adenosina trifosfato (ATP). Esse processo é denominado “respiração celular”. Logo, sem oxigênio, não há produção de energia e, conseqüentemente, não há vida aeróbia, que compreende a quase totalidade dos seres vivos.

Como a velocidade do metabolismo animal depende da disponibilidade de energia nas células, quanto mais oxigênio estiver disponível no meio intracelular, mais rápido será o crescimento e a realização das demais atividades celulares. Entretanto, não basta atender à concentração mínima de  $O_2$  dissolvido na água para a manutenção da vida; as concentrações devem permitir a obtenção de elevadas taxas de crescimento corporal e a preservação da saúde animal, ou seja, elevada imunocompetência.

Quando a concentração de  $O_2$  dissolvido na água é baixa, os peixes e camarões são submetidos a estresse respiratório. Nessa condição, o apetite animal cai de modo significativo: eles não se alimentam bem ou simplesmente não se alimentam de modo nenhum. A ração ofertada em meio desoxigenado é, em grande parte, desperdiçada para o meio e estimula a atividade decompositora, que reduz ainda mais as concentrações de  $O_2$  na água. Além disso, a taxa respiratória dos animais aquáticos aumenta

logo após a ingestão do alimento. Portanto, a entrada de ração na água eleva tanto a respiração animal quanto a bacteriana, ambas consumidoras ativas de  $O_2$ , principalmente a última.

Assim, a diminuição ou até mesmo a suspensão no fornecimento da alimentação aos animais deve ser a primeira providência tomada pelo produtor quando as concentrações de  $O_2$  dissolvido na água forem baixas. O fornecimento de ração deve ocorrer somente quando a concentração de  $O_2$  na água for igual ou maior que 4 mg/L; para isso, é importante fazer a leitura do  $O_2$  na água antes de cada refeição. Caso se insista em fazer o arraçoamento do tanque, a concentração de  $O_2$  na água, que já estava reduzida, cairá para níveis ainda menores, subletais ou até mesmo letais.

Para evitar a desoxigenação da água, deve-se dispor de um sistema de aeração mecânica capaz de manter as concentrações de  $O_2$  sempre acima de 4 mg/L, durante e após o arraçoamento dos animais. Caso os aeradores já não estejam ligados, é importante acioná-los um pouco antes, durante e um pouco depois de cada refeição.

Peixes submetidos à hipóxia se tornam suscetíveis às doenças porque o sistema imunológico, assim como os demais sistemas biológicos, trabalha à custa da combustão de ATP, ou seja, com gasto energético. Logo, se as reservas celulares de ATP estiverem baixas e não forem repostas na velocidade necessária por conta do estresse respiratório, as defesas biológicas do peixe deixarão de atuar dentro da sua normalidade. Por isso, mesmo que a concentração de  $O_2$  na água não seja baixa o suficiente para matar o animal por asfixia, o peixe e o camarão poderão morrer pelos danos causados por infecções oportunistas, advindas da sua maior susceptibilidade aos patógenos que se encontram naturalmente no meio.

A Tabela 2.1, a seguir, apresenta os efeitos esperados de diferentes concentrações de  $O_2$  dissolvido na água no crescimento e na saúde de peixes e camarões tropicais.

**Tabela 2.1** – Efeitos de diferentes concentrações de oxigênio dissolvido na água no crescimento e saúde de peixes e camarões tropicais criados em cativeiro

$O_2$ (mg/L)	Efeito
> 15	Trauma da bolha de gás
4 – 15	Nível desejável; bom crescimento e integridade imunológica
1,5 – 4	Faixa estressante, mas não letal; retardo no crescimento e maior susceptibilidade às doenças
< 1,5	Tolerado por curtos períodos; exposição prolongada pode levar o animal à morte

Fonte: Boyd e Tucker (1998).

## 2.2 SOLUBILIDADE DO O<sub>2</sub> NA ÁGUA

A quantidade máxima de O<sub>2</sub> que pode se difundir do ar para a água depende, principalmente, da pressão atmosférica, da temperatura e da salinidade da água. Águas mais quentes e com maiores concentrações de sais dissolvidos têm menor capacidade para solubilizar a molécula de O<sub>2</sub> (Tabela 2.2). Além disso, a solubilidade do O<sub>2</sub> na água cai com a redução da pressão atmosférica, ou seja, as águas ao nível do mar contêm mais O<sub>2</sub> dissolvido que as águas das montanhas, mantidas as demais condições constantes, isto é, temperatura e salinidade.

**Tabela 2.2** – Solubilidade do O<sub>2</sub> na água, em mg/L, em função da temperatura e da salinidade, ao nível do mar (760 mm Hg)

Temperatura (°C)	Salinidade (g/L)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
20	9,1	8,8	8,6	8,3	8,1	7,8	7,6	7,4	7,2
21	8,9	8,6	8,4	8,2	7,9	7,7	7,5	7,3	7,0
22	8,7	8,5	8,2	8,0	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9
23	8,6	8,3	8,1	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8
24	8,4	8,2	7,9	7,7	7,5	7,3	7,0	6,9	6,7
25	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7	6,6
26	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,4
28	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2
29	7,7	7,5	7,2	7,0	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,0
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9
32	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0	5,8

Fonte: Moretti et al. (2005).

Quando a concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água, em dada temperatura e salinidade, for a mesma da Tabela 2.2, a água estará saturada de O<sub>2</sub>, isto é, seu nível de saturação será de 100%. Mas, caso a concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água esteja abaixo ou acima desses valores, a água estará subsaturada ou supersaturada de O<sub>2</sub>, respectivamente. Se, por exemplo, a água contiver 7,8 mg/L de O<sub>2</sub>, for doce e sua temperatura

28°C, ela estará saturada com O<sub>2</sub>, ao nível do mar. Nesse caso, as concentrações de O<sub>2</sub> da água superficial e do ar atmosférico estarão em equilíbrio entre si, não ocorrendo transferência de O<sub>2</sub> do ar para água e vice-versa. Logo, a concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água não se alterará devido à difusão atmosférica. No nosso exemplo, a água estará subsaturada se sua concentração de O<sub>2</sub> for menor que 7,8 mg/L e supersaturada se maior que 7,8 mg/L.

Nos tanques e viveiros de peixes e camarões são muito comuns a supersaturação da água com O<sub>2</sub> durante o dia, sobretudo no período da tarde, e sua subsaturação durante a madrugada. Durante a fase luminosa do dia, o fitoplâncton faz fotossíntese e libera O<sub>2</sub> para água; no período da tarde, a intensa taxa fotossintética supersatura a água com O<sub>2</sub>. No exemplo anterior, se a concentração de O<sub>2</sub> da água fosse 9,5 mg/L, a água estaria supersaturada com O<sub>2</sub> em 121,8% (= 9,5/7,8) x 100. Nessa situação, haveria transferência de O<sub>2</sub> da água para a atmosfera, ou seja, a água perderia O<sub>2</sub> para o ar. Durante a noite, a fotossíntese deixa de ocorrer, havendo apenas o consumo de O<sub>2</sub> dissolvido na água, realizado pelos peixes, camarões e microrganismos. Em algum momento, o valor da concentração de O<sub>2</sub> na água se torna inferior ao da Tabela 2.2, ficando subsaturada para O<sub>2</sub>. Nesse caso, há transferência de O<sub>2</sub> da atmosfera para a água, ou seja, a água superficial ganha O<sub>2</sub> do ar. Em nosso exemplo, se a concentração de O<sub>2</sub> da água cair para 4 mg/L, às 2 h da madrugada, seu nível de subsaturação será de 51,3% (= 4,0/7,8) x 100.

Supersaturação da água com O<sub>2</sub> até 200% do nível de saturação não causa danos aos peixes cultivados, desde que a elevação no O<sub>2</sub> ocorra de modo gradual. Acima desse nível, entretanto, pequenas bolhas de ar podem se formar no sangue do animal, levando-o à morte pela obstrução dos vasos sanguíneos, patologia conhecida por embolia gasosa. Já quanto à subsaturação da água com O<sub>2</sub>, é importante manter o percentual de saturação da água com O<sub>2</sub> sempre acima de 65%.

### **2.3 VARIAÇÃO NICTIMERAL DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA**

Uma vez que a principal fonte de O<sub>2</sub> para água é a fotossíntese, a concentração de O<sub>2</sub> no ciclo nictimeral, ou seja, no ciclo de 24 h, varia, principalmente, em função da taxa fotossintética. Logo, o O<sub>2</sub> na água se eleva do início da manhã até o meio da tarde, quando atinge seu clímax e, a partir daí, cai até o amanhecer do dia seguinte, quando se reinicia o ciclo. Assim, as menores concentrações de O<sub>2</sub> na água são observadas pouco antes do amanhecer, por volta das 6 h da manhã, a depender da estação do ano e da localização do criadouro. Esse é o momento do dia de maior estresse respiratório para os animais aquáticos. É comum observar, bem cedo de manhã, peixes com a boca aberta na superfície da água, respirando a fina alíquota de água mais oxigenada – nestes casos, os animais já estão sob estresse respiratório.

A depender da rusticidade da espécie, os episódios de hipóxia podem não levar os animais a óbito. Contudo, eventos frequentes de hipóxia estressam os animais,

retardando seu crescimento e tornando-os mais suscetíveis a doenças. Por isso, é importante determinar as concentrações de  $O_2$  na água nas primeiras horas da noite, para prever os níveis ao amanhecer. Se a previsão indicar valores abaixo de 3 mg/L, deve-se acionar os aeradores durante a madrugada, para prevenir o estresse respiratório dos animais.

O método das duas leituras noturnas utilizado para prever a concentração de  $O_2$  ao amanhecer é bastante simples. No início da noite, faz-se duas leituras com um intervalo de 1 a 2 h entre elas. Em seguida, subtrai-se o valor da segunda leitura do valor da primeira e divide-se o resultado pelo número de horas. Com isso, obtêm-se uma estimativa da taxa de redução do  $O_2$  na água por hora. Basta multiplicar essa estimativa pelo número de horas entre a segunda leitura de  $O_2$  e o amanhecer. Finalmente, subtrai-se esse resultado da segunda leitura noturna para prever a concentração de  $O_2$  ao amanhecer. Para ilustrar esses cálculos, considere a seguinte questão:

- Horário da primeira leitura de  $O_2$ : 19 h;
- Concentração de  $O_2$  na primeira leitura = 5,0 mg/L;
- Horário da segunda leitura de  $O_2$ : 21 h;
- Concentração de  $O_2$  na segunda leitura = 4,2 mg/L.

A partir dos dados anteriores, qual será a provável a concentração de  $O_2$  dissolvido na água às 5 h da manhã?

### *Solução*

- 1) Calcular a variação na concentração de  $O_2$ , no intervalo de tempo entre as duas observações:  $5,0 \text{ mg/L} - 4,2 \text{ mg/L} = 0,8 \text{ mg/L}$ ;
- 2) Calcular a variação na concentração de  $O_2$  por hora:  $0,8 \text{ mg/L} / 2 \text{ h} = 0,4 \text{ mg/L/h}$ ;
- 3) Fazer a previsão da queda na concentração de  $O_2$  no intervalo de tempo considerado (21 h até 5 h):  $0,4 \text{ mg/L/h} \times 8 \text{ h} = 3,2 \text{ mg/L}$ ;
- 4) Estimar a concentração de  $O_2$  dissolvido na água ao amanhecer:  $4,2 \text{ mg/L} - 3,2 \text{ mg/L} = 1,0 \text{ mg/L}$ .

## **2.4 VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE**

A camada superior da coluna d'água é mais oxigenada que as camadas inferiores, pois apenas a água superficial recebe o  $O_2$  atmosférico que se difundiu livremente do ar para a água, principalmente no período noturno e nas primeiras horas da manhã. Como a atmosfera contém quase 21% de oxigênio na sua composição, o  $O_2$  se difunde

do meio de maior concentração, que é o ar, para o meio de menor concentração, que é a água superficial. Essa transferência, contudo, somente é capaz de enriquecer com oxigênio os primeiros centímetros da coluna d'água. A difusão molecular<sup>1</sup> do O<sub>2</sub> da camada superficial para as mais profundas é um processo muito lento, insignificante. Nesse caso, a força física mais relevante, rápida e eficiente no transporte de O<sub>2</sub> da superfície para o fundo é a ação dos ventos. Outra possibilidade é a mistura vertical da coluna d'água a partir do trabalho mecânico dos aeradores de pás. Portanto, se não houver ventos fortes, nem aeração suficiente, o O<sub>2</sub> que se difunde da atmosfera para a água permanecerá concentrado apenas na fina camada superficial da coluna d'água.

Além da atmosfera, a fotossíntese é outra importante fonte de O<sub>2</sub>. A incorporação de O<sub>2</sub> fotossintético na água beneficia, de início, apenas o estrato superficial porque o fitoplâncton se concentra na zona eufótica da coluna d'água. Posteriormente, o O<sub>2</sub> gerado pela fotossíntese pode ou não atingir a água de fundo, a depender da entrada de ventos fortes ou do trabalho de equipamentos que promovam a circulação da água. A fotossíntese, portanto, é a principal fonte de O<sub>2</sub> para a água.

A decomposição da matéria orgânica, que ocorre em maior parte nos sedimentos do viveiro, pode levar a grandes diferenças nas concentrações de O<sub>2</sub> entre a superfície e o fundo. Bactérias aeróbias decompõem a matéria orgânica depositada no fundo do viveiro e, desse modo, reduzem a concentração de O<sub>2</sub>. Com isso, a concentração de O<sub>2</sub> no fundo cai progressivamente até zerar, caso não haja a entrada de O<sub>2</sub> superficial. Portanto, como as camadas mais profundas não têm acesso ao O<sub>2</sub> atmosférico, tampouco ao fotossintético, aliado ao fato de a maior parte da decomposição da matéria orgânica acontecer nos sedimentos, a água de fundo tem, por consequência, menor concentração de O<sub>2</sub> do que as águas superficiais.

Somente a mistura das diferentes camadas verticais de água pode levar o O<sub>2</sub> superficial até o fundo. Como a profundidade dos tanques de aquicultura não ultrapassa 2 m, a mistura total de massas d'água pode ser realizada com sucesso pelo trabalho dos ventos e aeradores mecânicos. Entretanto, nos dias muito quentes e de poucos ventos, diferentes estratos verticais podem se formar na coluna d'água, em especial quando a transparência da água é baixa. Esses estratos não se misturam, mesmo havendo a entrada de ventos moderados. Quando isso acontece, o viveiro está termicamente estratificado, e sua água de fundo permanece estagnada. Como o O<sub>2</sub> da superfície não atinge o fundo, a concentração de O<sub>2</sub> no hipolímnio vai diminuindo até zerar. Nesse caso, a matéria orgânica, depositada no fundo, entra em decomposição anaeróbia, que libera gases tóxicos para o meio, como o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e o metano (CH<sub>4</sub>).

O acionamento dos aeradores, também no período da tarde, é uma importante medida de prevenção contra o acúmulo de gases tóxicos no fundo do viveiro, uma vez

---

<sup>1</sup> Difusão molecular é a movimentação das moléculas de O<sub>2</sub> dentro da água, devida unicamente a sua concentração e padrão vibratório, ou seja, sem o auxílio de nenhuma outra força física.

que promove a desestratificação da coluna d'água. Com a circulação da água, o oxigênio da água superficial é levado rapidamente até o fundo, fazendo com que a decomposição da matéria orgânica ocorra de modo aeróbio. Portanto, a estratificação térmica da coluna d'água de tanques de aquicultura, com a formação de diferentes camadas verticais de água que não se misturam, é prejudicial ao cultivo e deve ser, por isso, combatida pelo produtor.

A aeração vespertina da água é especialmente importante em viveiros de camarão. Como ele é um animal bentônico, torna-se crucial fazer a mistura da água do epilimnio, rica em  $O_2$ , com a água do hipolimnio, pobre em  $O_2$ . Viveiros de camarão, que se encontram estratificados termicamente, apresentam baixo  $O_2$  no fundo. O acionamento dos aeradores de pás, no período da tarde, é capaz de realizar a mistura total da coluna d'água de ecossistemas aquáticos rasos, tais como viveiros de carcinicultura.

A estratificação térmica da coluna d'água é facilitada pela grande atenuação luminosa causada pela turbidez do fitoplâncton. Quando a densidade algal é elevada, indicada pelas baixas leituras do disco de Secchi, há uma forte queda na luminosidade aquática logo abaixo da camada superficial. Com isso, a camada de água localizada abaixo do fitoplâncton se torna mais fria e, conseqüentemente, mais densa. Ao se tornar mais pesada, a água de fundo resiste à ação dos ventos, que podem não conseguir fazer a mistura total das camadas verticais de água. Logo, deve-se monitorar e manejar a transparência da água do tanque, de modo a evitar águas muito verdes e turvas, que facilitem a ocorrência de estratificação térmica.

Uma dica prática para prevenir a falta de  $O_2$  no fundo é não deixar a transparência da água ser menor que a divisão da profundidade do viveiro pelo fator 2,7. Nesse caso, toda a coluna d'água do tanque estaria dentro da zona eufótica, isto é, haveria pelo menos 1% da radiação incidente na interface sedimento-água. Com isso, o balanço de  $O_2$  dissolvido é positivo e não há acúmulo de gases tóxicos no fundo. Se a profundidade média do viveiro for 1,50 m, por exemplo, a transparência mínima aceitável seria 0,55 m ( $1,50 / 2,7$ ). Portanto, leituras de Secchi iguais ou superiores a 0,55 m indicam que não existe zona afótica no fundo. Já se a transparência da água for menor que 0,55 m, a água de fundo está afótica e, por consequência, desoxigenada.

## 2.5 MONITORAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM TANQUES DE AQUICULTURA

É importante que as concentrações de  $O_2$  na água de tanques de aquicultura sejam obtidas diariamente e, sempre que possível, em quatro horários diferentes, a saber: uma vez ao amanhecer, uma vez no meio da tarde e duas vezes à noite. É comum fazer o monitoramento simultâneo do  $O_2$  e pH da água.

O monitoramento do  $O_2$  ao amanhecer e no meio da tarde permite conhecer a menor e a maior concentração diária, respectivamente. As duas leituras noturnas podem ser utilizadas para prever a concentração de  $O_2$  ao amanhecer. Desses quatro horários, destaca-se, inegavelmente, o monitoramento do  $O_2$  ao amanhecer.

A concentração de  $O_2$  na água no início da manhã é uma informação útil para o correto manejo do tanque e a prevenção de estresse respiratório dos animais cultivados. Se a concentração de  $O_2$  ao amanhecer for baixa, isto é, menor que 4 mg/L, algumas medidas corretivas devem ser tomadas pelo produtor. Nesse caso, os manejos mais indicados são: a troca de água superficial, caso a transparência esteja baixa, ou de fundo, caso o hipolímnio esteja hipóxico; fazer uma restrição maior na quantidade de ração ofertada aos animais; e acionar os aeradores no período noturno, por mais tempo e em intensidade maior. A concentração de  $O_2$  ao amanhecer, portanto, é uma diretriz crucial para a definição do regime de troca de água, do manejo alimentar e do regime de aeração mecânica (Tabela 2.3).

**Tabela 2.3** – Sugestões de manejos para tanques de aquicultura, em função da concentração de  $O_2$  dissolvido na água ao amanhecer

$O_2$ ao amanhecer (mg/L)	Troca de água (% volume total)	Restrição alimentar (%)	Aeração noturna (nº de horas)	Horário de acionamento dos aeradores
≥ 4	–	–	–	–
3 – 4	5	6	5	1 h
2 – 3	10	9	6	Meia-noite
1 – 2	15	12	8	22 h
0 – 1	20	15	10	20 h

## 2.6 PREVENÇÃO DE NÍVEIS CRÍTICOS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM TANQUES DE AQUICULTURA

Algumas medidas podem ser tomadas pelo produtor para prevenir baixas concentrações de  $O_2$  dissolvido na água. Como recomendação geral, aconselha-se a aquisição de um bom medidor portátil, conhecido como *oxímetro*. De posse do equipamento, deve-se fazer o monitoramento diário das concentrações de  $O_2$  nos tanques. Somente é possível manejar corretamente os tanques se o monitoramento das concentrações de  $O_2$  for feito de forma sistemática, isto é, frequente e regular. O início da noite e o amanhecer são os momentos do dia mais importantes para se determinar o  $O_2$  na água. Além desses horários, pode-se ainda fazer o monitoramento vespertino para verificar o nível de supersaturação da água com  $O_2$ .

A seguir, são relacionadas as principais práticas que contribuem com a prevenção e correção de baixos níveis de oxigênio dissolvido na água:



*i. Manutenção da transparência da água do viveiro entre 30 e 50 cm*

Viveiros de aquicultura com águas muito transparentes, isto é, com densidade de Secchi maior que 60 cm, são deficientes em fitoplâncton, com menos de 80 mil células de microalgas/mL. Como a fotossíntese é a principal fonte natural de  $O_2$  para os tanques, a alta transparência pode levar à escassez de  $O_2$  na água. Já águas de cultivo muito verdes, com densidade de Secchi menor que 20 cm, possuem excesso de biomassa fitoplanctônica, com mais de 400 mil células de microalgas/mL. Essas águas, apesar de produzirem muito  $O_2$  durante o dia, removem intensamente o  $O_2$  durante a noite. Muito fitoplâncton na água implica em muita matéria orgânica no viveiro que, ao ser decomposta pelas bactérias, retira grande quantidade de  $O_2$  da água. Deve-se buscar regimes de fertilização, de alimentação e de troca de água que previnam o estabelecimento de densas populações fitoplanctônica nos tanques. Quando a transparência da água está abaixo de 20 cm, recomenda-se drenar a água superficial do tanque até que a transparência entre na faixa ideal.

*ii. Respeito à capacidade de suporte do ecossistema*

Todo e qualquer ecossistema aquático, seja um tanque, viveiro ou açude, tem uma limitação físico-química para abrigar, convenientemente, a vida aquática. Os componentes abióticos do ecossistema, representados principalmente pela concentração de  $O_2$  dissolvido na água, são capazes de sustentar a vida apenas até certo ponto. Quando a densidade populacional fica acima da capacidade de suporte do ecossistema, falta  $O_2$  para a manutenção de todos os seres vivos presentes na água. Nesse caso, é esperado que ocorram mortandades em massa de organismos aquáticos. A biomassa máxima sustentável é aquela que respeita a capacidade de suporte ou de carga do ecossistema aquático. Por isso, recomenda-se, do ponto de vista ecológico, que as densidades de estocagem em tanques aquicultura sejam moderadas.

Os sistemas semi-intensivos de cultivo são aqueles que melhor conciliam sustentabilidade econômica com ambiental. Neles, existe uma menor biomassa viva consumidora de  $O_2$  através da respiração e, ainda mais importante, menor oferta de rações nos tanques. Como uma parte significativa da ração é perdida para o meio na forma de fezes, uma menor oferta de ração implica em queda na concentração de matéria orgânica em decomposição na água. Densidades moderadas de estocagem reduzem a demanda bioquímica por oxigênio (DBO) nas unidades de cultivo, isto é, reduzem a carga de matéria orgânica em decomposição na água, quando comparado aos sistemas intensivos de criação.

Uma vez que se tenha definido a densidade de estocagem considerada ideal para o ambiente de cultivo, deve-se tomar outro cuidado: não fornecer ração em excesso. A ração que é ofertada aos peixes e camarões acima das suas necessidades é perdida para o meio, causando queda no  $O_2$  e a formação de gases tóxicos na água.

A fertilização excessiva e desnecessária da água também deve ser evitada, porque promove o crescimento explosivo de populações fitoplanctônicas, muitas vezes

indesejáveis, como de cianobactérias filamentosas. Essa grande biomassa algal põe em risco o cultivo pelos motivos expostos no item *i* desta seção.

### *iii. Uso de rações balanceadas de qualidade*

O produtor que adquire rações que se destacam das demais oferecidas no mercado, pelo preço consideravelmente menor, pode amargar sérios problemas com as baixas concentrações de  $O_2$  na água dos tanques. As rações mais baratas são fabricadas com ingredientes de qualidade inferior e possuem níveis insuficientes de matérias-primas de maior valor nutricional que, em regra, são mais caras. As rações de custo muito baixo apresentam, geralmente, digestibilidade também muito baixa, dificultando a digestão pelos peixes e camarões. Como consequência, os animais eliminam maior quantidade de fezes na água. O efeito da decomposição das fezes sobre a concentração de  $O_2$  dissolvido na água já foi discutido no item anterior.

### *iv. Aeração mecânica à noite*

Como não há liberação de  $O_2$  para água pela fotossíntese durante a noite, as concentrações de  $O_2$  dissolvido caem progressivamente com o passar das horas, atingindo níveis mínimos, ou até mesmo nulos, ao amanhecer. Quando a biomassa no viveiro é muito elevada, isto é, em sistemas intensivos de criação, há a necessidade de acionar os aeradores mecânicos durante a noite. Com essa aeração suplementar, garante-se o suprimento de  $O_2$  aos animais até o reinício da fotossíntese na manhã seguinte.

### *v. Troca de água de superfície e de fundo*

Além de controlar o volume de água que entra e sai do tanque, também é importante que o aquicultor possa definir a camada vertical de água que deseja drenar. Para isso, deve dispor de um sistema de drenagem que lhe permita escolher a camada da coluna d'água a ser escoada – se a de superfície ou de fundo. Uma boa opção para isso é o monge.<sup>2</sup>

Para evitar que a densidade fitoplanctônica se torne muito elevada, com risco de faltar  $O_2$  no período noturno, é recomendado a troca superficial de água do tanque. O volume a ser efetivamente trocado depende da transparência inicial da água, isto é, a operação deve elevar a leitura de Secchi para mais de 30 cm.

Já quando as leituras de  $O_2$  da água de fundo estão baixas, menores que 3 mg/L, é recomendado a troca dessa camada de água, com objetivo de diminuir a concentração de matéria orgânica. O excesso de detritos orgânicos em decomposição no fundo forma condições anaeróbias que levam ao acúmulo de gases tóxicos no meio.

<sup>2</sup> Monge é uma pequena construção, geralmente de alvenaria ou concreto, usada para fazer a drenagem da água de tanques de aquicultura. Possui canaletas que recebem tábuas e telas que podem ser facilmente manipuladas para escoar a água de superfície ou de fundo.

#### *vi. Secagem completa do viveiro após a despesca*

Com o decorrer do ciclo de produção, as fezes dos animais, os detritos planctônicos e os restos de ração se sedimentam no fundo do viveiro. Inicialmente, enquanto houver  $O_2$  suficiente, a decomposição da matéria orgânica no fundo é rápida. Logo, os sedimentos orgânicos são importantes sítios consumidores de  $O_2$  da água. Em seguida, quando os sedimentos superficiais se tornam anaeróbios, a decomposição da matéria orgânica passa a ser mais lenta, tanto pela falta de  $O_2$  como pelo fato de a matéria orgânica residual ser refratária, ou seja, ser de baixa biodegradabilidade. Como consequência, os sedimentos começam a ganhar espessura e a acumular matéria orgânica.

Uma forma eficiente para realizar a decomposição da matéria orgânica depositada no fundo é, após a despesca dos animais, secar completamente o viveiro e expor o solo ao ar e ao sol. Os raios ultravioletas fazem a foto-oxidação da matéria orgânica e a limpeza do solo, sem custo ao produtor. Com isso, a qualidade inicial do solo estará bem melhor no ciclo de produção seguinte. Recomenda-se deixar o viveiro exposto ao sol até que seu solo rache completamente. Em seguida, aguarda-se de 2 a 3 dias, para que ocorra a aeração entre os blocos, aplica-se calcário ou cal hidratada agrícola para correção do pH e recuperação da reserva alcalina, realizando-se ou não a aragem do solo.

Como os efluentes dos tanques de criação podem causar um impacto negativo no meio ambiente, recomenda-se que essas águas não sejam liberadas diretamente nos corpos receptores. Além de problemas ambientais, como salinização, acidificação e eutrofização, que levam à perda de biodiversidade, os efluentes de tanques aquícolas também podem disseminar doenças. Por esse motivo, os efluentes aquícolas devem ser, inicialmente, transferidos para uma bacia de tratamento a fim de que recuperem, após certo tempo, suas qualidades limnológicas e sanitárias. Em seguida, a água poderá ser reutilizada em ciclos posteriores ou lançada no meio ambiente com segurança.

## **2.7 SUPERSATURAÇÃO DA ÁGUA COM $O_2$**

No período vespertino do dia, a taxa fotossintética pode se elevar muito pela alta densidade algal, intensa luminosidade e elevada temperatura da água. Quando isso acontece, é comum que a concentração de  $O_2$  na água ultrapasse o valor que corresponde a 100% de saturação (Tabela 2.2). Nessa situação, a água está supersaturada com oxigênio e passa a perder  $O_2$  para a atmosfera. Embora possa parecer descabido, o melhor a fazer, nesse caso, é acionar os aeradores mecânicos. Se a água permanecer estagnada, a concentração de  $O_2$  continua a se elevar e pode atingir níveis perigosos para a vida aquática. Quando as concentrações de  $O_2$  superam 300% de saturação, os peixes podem sofrer embolia gasosa, que é letal especialmente para os estágios mais jovens, como larvas e pós-larvas. Na literatura especializada, esse incidente é denomi-

nado de “trauma da bolha de gás”. Peixes submetidos à hiperóxia, isto é, excesso de oxigênio na água, nadam até o fundo em busca de águas menos oxigenadas.

Além do trauma da bolha de gás, outra patologia que pode acometer peixes mantidos em águas supersaturadas com  $O_2$  é a hipercapnia, ou seja, o aumento nas concentrações de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) no sangue do peixe, fator de estresse respiratório aos animais. A hipercapnia será melhor discutida no Capítulo 4 desta obra. A respiração branquial não se faz apenas pela obtenção de  $O_2$ , mas também pela liberação de  $CO_2$ , uma vez que a mesma hemoglobina que se liga ao  $O_2$  libera  $CO_2$  para água. Assim, concentrações excessivas de  $O_2$  na água dificultam a excreção de  $CO_2$  para o meio, fazendo com que as concentrações sanguíneas de  $CO_2$  subam para níveis perigosos para a fisiologia animal.

## 2.8 CONCENTRAÇÃO DE $O_2$ EM EFLUENTES DE AQUICULTURA

Em geral, a qualidade dos efluentes de tanques de aquicultura é inferior à qualidade dos afluentes, isto é, da água de abastecimento. Além de elevadas concentrações de nutrientes (N, P), turbidez e acidez, os efluentes aquícolas possuem baixas concentrações de  $O_2$  dissolvido. Assim, entre os impactos negativos do lançamento de efluentes aquícolas não tratados na natureza, está a redução no  $O_2$  dos corpos receptores. A queda no  $O_2$  acontece tanto de forma direta, pela mistura da água desoxigenada que sai do viveiro com as águas naturais, como de forma indireta, pelo maior consumo de  $O_2$  decorrente da decomposição da matéria orgânica nova, que foi lançada no corpo receptor. Por isso, os efluentes de tanques de aquicultura não devem ser liberados diretamente na natureza, mas sim em bacias de tratamento para recuperação de suas características limnológicas originais.

Os efluentes dos tanques podem ser drenados inicialmente para uma bacia de sedimentação, que deve possuir uma profundidade maior para a remoção do material particulado em suspensão na água. Em seguida, a água superficial é drenada para uma segunda bacia de tratamento, mais rasa, que permite a oxigenação natural da água. Quando a concentração de  $O_2$  dissolvido na água atingir 3 mg/L ou mais, já é possível fazer seu descarte seguro na natureza. Uma possibilidade ainda melhor é a reutilização da água tratada no reabastecimento das unidades produtivas da fazenda.

## RESUMO

O  $O_2$  é a molécula mais utilizada pelos seres vivos para extrair energia química dos nutrientes. Como a velocidade do metabolismo animal depende da disponibilidade de energia nas células, quanto mais  $O_2$  disponível no meio intracelular (até certo limite), mais rápidos serão o crescimento e as atividades celulares. A diminuição ou mesmo a suspensão na oferta de ração aos animais deve ser a primeira providência a ser tomada quando se observa baixas concentrações de  $O_2$  dissolvido na água. Mesmo quando a

concentração de  $O_2$  na água não é baixa o suficiente para matar o animal por asfixia, o peixe pode morrer pelos danos causados pelas infecções oportunistas, advindas da maior susceptibilidade aos patógenos.

A quantidade máxima de  $O_2$  que pode se difundir do ar para água depende da pressão atmosférica, temperatura e salinidade da água. As águas tropicais e salgadas têm menor capacidade para solubilizar a molécula de  $O_2$  que as águas frias e doces. Em aquicultura, deseja-se que o nível de saturação da água com  $O_2$  esteja sempre acima de 65%. Pelo fato de a principal fonte natural de  $O_2$  para água de tanques de aquicultura ser a fotossíntese, a concentração de oxigênio dissolvido varia, ao longo do dia, em função da taxa fotossintética. A determinação das concentrações de oxigênio dissolvido na água em dois horários noturnos permite prever os níveis de  $O_2$  ao amanhecer.

As águas superficiais são mais oxigenadas do que as águas de fundo. Para que o  $O_2$  superficial chegue ao fundo do tanque, deve ocorrer a mistura total das camadas verticais de água. Em ecossistemas aquáticos rasos, tais como viveiros de aquicultura, esse trabalho pode ser realizado pelos aeradores mecânicos. É importante controlar a transparência da água de cultivo, de modo a evitar águas muito verdes que facilitem a estratificação térmica nesses ambientes. Algumas medidas podem prevenir baixas concentrações de  $O_2$  dissolvido na água de cultivo, como:

- 1) Manutenção da transparência da água do viveiro acima de 30 cm;
- 2) Respeito à capacidade de suporte do sistema;
- 3) Uso de rações balanceadas de boa qualidade;
- 4) Acionamento da aeração mecânica à noite;
- 5) Troca de água de superfície e de fundo;
- 6) Secagem completa do viveiro após a despesca.

Para prevenir o trauma da bolha de gás em aquicultura, pode-se acionar os aeradores mecânicos no período da tarde. Os efluentes de tanques aquícolas, por serem desoxigenados, não devem ser lançados diretamente na natureza, mas sim em bacia de tratamento, para que recuperem suas características limnológicas originais.

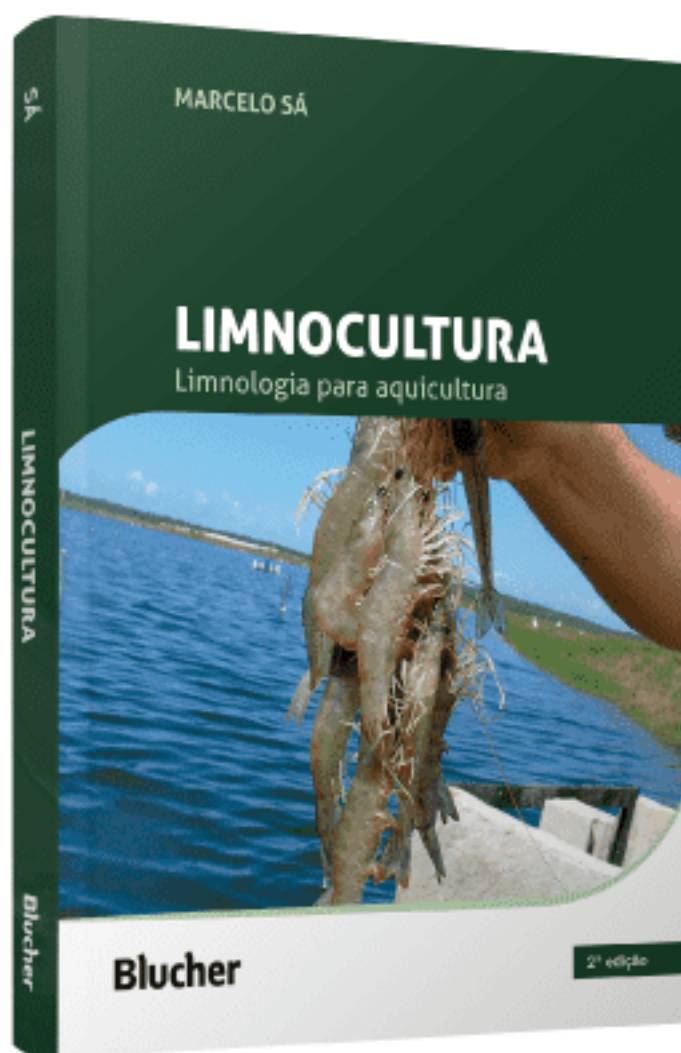
**Esta obra apresenta temas básicos sobre  
Limnocultura – limnologia para aquicultura a  
estudantes, técnicos, pesquisadores e produtores de  
peixes e camarões cultivados.**

Abordando questões relevantes sobre oxigênio dissolvido, pH,  $\text{CO}_2$ , alcalinidade, dureza, amônia, nitrito, nitrato, fósforo, capacidade de suporte, matéria orgânica, produtividade primária,  $\text{H}_2\text{S}$ , ferro, salinidade da água, relação C:N e balanceamento iônico, o autor transmite os conhecimentos necessários para compreensão desses temas. Este livro é de suma importância para a adoção de práticas produtivas sustentáveis, que estejam embasadas no conhecimento científico disponível. O leitor com dúvidas sobre aspectos da limnologia para aquicultura encontrará, nesta obra, as respostas apresentadas de forma clara e simples.



[www.blucher.com.br](http://www.blucher.com.br)

**Blucher**



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

## Limnocultura

### Limnologia para aquicultura

---

Marcelo Sá

ISBN: 9786555066012

Páginas: 346

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2023

---