

## PREPARO DE ÁGUA SUPEROXIGENADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA USO EMERGENCIAL EM TANQUES DE AQUICULTURA

*(Making of super oxygenated water with hydrogen peroxide for emergency use in aquaculture tanks)*

Arthur Borges TORRES<sup>1</sup>; Antonio Éder Soares RAULINO<sup>1</sup>; Francisco Roberto dos Santos LIMA<sup>1</sup>; Marcos Luiz da Silva APOLIANO<sup>1</sup>; Davi de Holanda CAVALCANTE<sup>2</sup>; Marcelo Vinícius do CARMO-E-SÁ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Fortaleza, CE. CEP: 60.356-001; <sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus do Acaraú. \*E-mail: [marcelo.sa@ufc.br](mailto:marcelo.sa@ufc.br)

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo produzir água superoxigenada, quimicamente estável, com peróxido de hidrogênio para uso emergencial em tanques de aquicultura. Vinte e quatro galões de 12 L receberam, cada um, 10 L de água doce limpa. Os galões do grupo-controle não receberam nenhuma aplicação de peróxido de hidrogênio 35% p.a. (P35). Os galões dos grupos experimentais receberam uma aplicação única de P35, no início do trabalho, em diferentes dosagens: 2,0 mL P35 L<sup>-1</sup> e 4,0 mL P35 L<sup>-1</sup>. Após a aplicação do produto na água, os galões foram mantidos hermeticamente fechados, sendo que metade dos galões foram abertos periodicamente, por ocasião das amostragens experimentais (galões manipulados), e metade dos galões somente foram abertos nos dias 15 e 28 (galões não manipulados). Determinações de temperatura, pH e concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água foram realizadas em todos os galões manipulados, a cada dois dias, nos primeiros 15 dias, e a cada 3-4 dias, do 16<sup>o</sup> ao 28<sup>o</sup> dia. Concluiu-se que é possível preparar água superoxigenada quimicamente estabilizada para uso emergencial em tanques de aquicultura pela aplicação de 2,0 mL L<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio 35% p.a. em água doce limpa. Após o preparo, deve-se respeitar uma carência mínima de três dias para uso da água superoxigenada. Concentrações dissolvidas de O<sub>2</sub> superiores a 15 mg L<sup>-1</sup> poderão ser mantidas por no mínimo 28 dias, caso a vedação dos galões contendo água oxigenada seja apropriada.

**Palavras-chaves:** Piscicultura, carcinicultura, qualidade de água.

### ABSTRACT

The present work aimed at producing chemically stable super oxygenated water with hydrogen peroxide for emergency use in aquaculture tanks. Twenty-four gallons of 12-L each received 10 L of clean freshwater. The control group gallons did not receive any application of hydrogen peroxide 35% p.a. (P35). The experimental group gallons received one single application of P35 at the beginning, in different levels: 2.0 mL P35 L<sup>-1</sup> and 4.0 mL P35 L<sup>-1</sup>. After product applications, the gallons were kept hermetically locked, but half of the gallons were periodically unlocked to take water samples (manipulated gallons), and half were unlocked only at the day 15 and 28 (unmanipulated gallons). Measuring of temperature, pH and dissolved O<sub>2</sub> were carried out in all manipulated gallons every two days, in the first 15 days, and every 3-4 days from the 16<sup>th</sup> to the 28<sup>th</sup> day. It was concluded that it is possible to prepare chemically stable super oxygenated water for emergency use in

aquaculture tanks by applying 2.0 mL L<sup>-1</sup> of hydrogen peroxide 35% p.a in clear freshwater. A minimal period of three days must be observed before using the super oxygenated water. Concentrations of dissolved O<sub>2</sub> higher than 15 mg L<sup>-1</sup> could be obtained for at least 28 days if the water gallons are properly locked up.

**Key words:** Fish culture, shrimp culture, water quality.

## INTRODUÇÃO

Um dos problemas recorrentes enfrentados pelas larviculturas, laboratórios e berçários de peixes e camarões cultivados é a suspensão temporária no fornecimento de ar forçado, por falta de energia elétrica. Embora a solução mais objetiva para essa questão seja o acionamento de geradores, o alto custo desses equipamentos restringe seu uso aos grandes laboratórios e produtores. Como as densidades de estocagem empregadas naquelas unidades são muito elevadas, principalmente em sistemas superintensivos, tal como em tanques BFT, grandes mortalidades e prejuízos financeiros poderão ocorrer poucas horas após a interrupção da aeração mecânica da água (MAHANAND e PANDEY, 2019).

Uma solução de baixo custo para o problema da suspensão temporária da aeração suplementar de tanques de aquicultura é a oxigenação química da água (TAYLOR e ROSS, 1988). Com essa finalidade, o produto mais conhecido e disponível no mercado é o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Quando aplicado na água, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se decompõe rapidamente em produtos atóxicos aos animais cultivados, como pode ser visto na reação a seguir: 2H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> → 2H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> (ARVIN e PEDERSEN, 2015). O peróxido de hidrogênio, portanto, ao liberar O<sub>2</sub> dissolvido para água, pode ser eficazmente empregado como fonte emergencial de O<sub>2</sub>. É comum o uso eventual de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em tanques de transporte de alevinos e pós-larvas de peixe e camarão (TAYLOR e ROSS, 1988). Entretanto, o uso mais frequente do peróxido de hidrogênio em aquicultura é como desinfetante, por conta de seu elevado poder bactericida e fungicida (PEDERSEN e PEDERSEN, 2012).

Poucos trabalhos foram realizados até o momento sobre o uso do peróxido de hidrogênio, como fonte emergencial de O<sub>2</sub> para água, em tanques de produção de peixes e camarões. Lima *et al.* (2012) avaliaram o uso do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em tanques de produção de camarão marinho, *Litopenaeus vannamei*, tendo concluído que o peróxido de hidrogênio pode ser utilizado como fonte emergencial de O<sub>2</sub> para tanques de carcinicultura e que haveria a necessidade de reaplicar o produto na água a cada 2 a 3 h, para manutenção do O<sub>2</sub> em níveis desejáveis. Esses autores aplicaram 10 mL de peróxido de hidrogênio a 50% por m<sup>3</sup> de água (5 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>). Furtado *et al.* (2014), realizaram estudo com o objetivo de determinar as concentrações letais e seguras de peróxido de hidrogênio, como fonte emergencial de O<sub>2</sub>, em tanques BFT de *L. vannamei*. Esses autores concluíram que é possível aplicar até 29 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>, sem a ocorrência de mortalidade de camarões. Logo, a recomendação de Furtado *et al.* (2014), para aplicação do peróxido de hidrogênio na água, é quase seis vezes maior que a de Lima *et al.* (2012), para a mesma espécie animal. Essa diferença se deveu provavelmente às especificidades dos sistemas de cultivo empregados em cada caso, especialmente quanto às concentrações de matéria orgânica e compostos reduzidos na água, tais como amônia e gás sulfídrico. Depreende-se disso que, em alguns casos, a recomendação

de Lima *et al.* (2012) poderá ser insuficiente e, em outros casos, a recomendação de Furtado *et al.* (2014) poderá ser excessiva. Na primeira situação, os efeitos esperados da aplicação do peróxido de hidrogênio sobre a concentração de O<sub>2</sub> dissolvido seriam decepcionantes. No último, a superdosagem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> estressaria os animais cultivados, podendo, inclusive, causar mortalidades generalizadas.

O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, quando aplicado diretamente no tanque de criação, já povoado com os animais, deve ser usado com extrema cautela, em soluções bastante diluídas (RUSSO *et al.*, 2007). Uma alternativa mais segura para uso do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na aquicultura, que ainda não havia sido avaliada pela ciência, é a aplicação de superdosagens de peróxido de hidrogênio em água desprovida de organismos aquáticos, em etapa prévia ao ciclo de produção. Após a aplicação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na água, aguardar-se-ia algum tempo para estabilização química da água, antes do seu uso em situações emergenciais. O presente trabalho teve por objetivo produzir água superoxigenada, quimicamente estável, com megadoses de peróxido de hidrogênio, para uso emergencial em tanques de aquicultura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Delineamento experimental

O trabalho foi realizado na sala *indoor* do Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola – LCTA, unidade de pesquisa pertencente ao Departamento de Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (Campus Universitário do Pici, Fortaleza, Ceará). Vinte e quatro galões plásticos de 12 litros receberam, cada um, 10 litros de água doce limpa (torneira). Nesse teste, seis grupos de observação foram constituídos, sendo dois controles e quatro experimentais, cada um com quatro repetições (Tab. 01).

**Tabela 01:** Delineamento experimental.

Tratamento	Função	Aplicação de peróxido de hidrogênio 35% (mL L <sup>-1</sup> )	Aplicação de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> na água (mL m <sup>-3</sup> )	Manipulação do galão
1	controle	0,0	-	sim
2	experimental	2,0	700	sim
3	experimental	4,0	1400	sim
4	controle	0,0	-	não
5	experimental	2,0	700	não
6	experimental	4,0	1400	não

Os galões do grupo-controle não receberam nenhuma aplicação de “*peróxido de hidrogênio 35% p.a.*” (Neon Comercial Ltda, Suzano, SP), que é uma solução aquosa de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, contendo 35 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por 100 mL de solução (130 volumes). Esse produto comercial foi designado no presente trabalho como “P35” para diferenciar do composto químico, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Os galões dos grupos experimentais receberam uma aplicação única de P35,

no início do trabalho, em diferentes dosagens, a saber: 20,0 mL e 40,0 mL de P35 por galão, correspondendo a 2,0 mL P35 L<sup>-1</sup> (0,70 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> ou 700 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>) e 4,0 mL P35 L<sup>-1</sup> (1,40 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> ou 1400 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>), respectivamente (Tab. 01). Após a aplicação do produto na água, os galões foram mantidos hermeticamente fechados, sendo que metade dos galões foram abertos periodicamente, por ocasião das amostragens experimentais (galões manipulados), e metade dos galões somente foram abertos nos dias 15, metade do período experimental, e 28, último dia (galões não manipulados; Tab. 01).

### **Determinações físico-químicas**

Determinações periódicas da temperatura (termômetro espeto digital), pH (medidor de pH mPA210, MS Tecnocon, Piracicaba, SP) e concentração de O<sub>2</sub> dissolvido (oxímetro YSI 55, Yellow Springs, EUA) na água foram realizadas em todos os galões manipulados, a cada dois dias, nos primeiros 15 dias, e a cada 3-4 dias, do 16° ao 28° dia. Com a temperatura e concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água, calculou-se o percentual de saturação de O<sub>2</sub> (BOYD e TUCKER, 1998). Nos galões não-manipulados, foram realizadas as mesmas determinações físico-químicas, mas somente nos dias 0, 15 e 28, após a aplicação do produto na água.

### **Análise Estatística**

Os resultados foram submetidos à estatística descritiva para obtenção de média, desvio-padrão, coeficiente de variação e valores de máximo e mínimo. O teste *t* de *Student* foi utilizado para comparar as médias, em um mesmo tempo, entre galões manipulados e não-manipulados. Análise de variância (ANOVA) unifatorial, para experimentos inteiramente casualizados, foi aplicada aos resultados de O<sub>2</sub> e % de saturação de O<sub>2</sub> para comparar as diferentes dosagens de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entre si, em um mesmo tempo. As alterações nas concentrações de O<sub>2</sub>, nas dosagens de 0,0 e 2,0 mL L<sup>-1</sup>, foram comparadas, ao longo do tempo, através da ANOVA unifatorial com medidas repetidas. As médias foram comparadas, duas a duas, quando havia diferença significativa entre elas, pelo teste de Tukey ou Holm-Sidak. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes. O software SigmaPlot 12.0 foi utilizado na análise estatística dos resultados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A concentração inicial de O<sub>2</sub> dissolvido na água dos galões, isto é, antes da aplicação de P35, variou entre 6,9 – 7,0 mg L<sup>-1</sup> (Tab. 02), com correspondente percentual de saturação da água com O<sub>2</sub> entre 86,2 – 87,5% (Tab. 03). Vinte e quatro horas após a aplicação de P35, as concentrações de O<sub>2</sub> se elevaram fortemente nas duas dosagens avaliadas (2,0 e 4,0 mL L<sup>-1</sup>), ultrapassando 20 mg L<sup>-1</sup> ou 250% de saturação, nos últimos galões. A concentração de O<sub>2</sub> nos galões que não receberam aplicação de P35 não sofreu variações significativas ao longo do tempo, mantendo-se estável em 6,9±0,1 mg L<sup>-1</sup>.

Embora a capacidade do peróxido de hidrogênio em liberar O<sub>2</sub> para água seja notória (ARVIN e PEDERSEN, 2015), poucos trabalhos foram realizados até o momento sobre o uso seguro do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, como fonte emergencial de O<sub>2</sub> para tanques de aquicultura (TAYLOR e ROSS, 1988). Por considerar a toxicidade do peróxido de hidrogênio para os

animais aquáticos, Taylor e Ross (1988) sugeriram a aplicação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em tanques em separado das unidades com peixes. Com a finalidade de prover O<sub>2</sub> de forma emergencial, podem ser citados apenas os trabalhos realizados por Lima *et al.* (2012) e Furtado *et al.* (2014). A grande maioria dos trabalhos abordou o uso do peróxido de hidrogênio como desinfetante na aquicultura (AVENDÃÑO-HERRERA *et al.*, 2006; PEDERSEN e PEDERSEN, 2012; MOHAMMED e ARIAS, 2015; HODKOVICOVA *et al.*, 2019). Essa questão é relevante porque a aplicação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, diretamente no tanque de criação, pode causar lesões graves aos animais cultivados (RUSSO *et al.*, 2007; ROQUE *et al.*, 2010).

**Tabela 02:** Concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água, em mg L<sup>-1</sup>, após uma única aplicação de peróxido de hidrogênio 35% (P35), em diferentes dosagens.

Dia	Aplicação P35 (mL L <sup>-1</sup> )						P
	0,0		2,0		4,0		
	MP	NMP <sup>1</sup>	MP	NMP	MP	NMP	
0	6,9±0,1	7,0±0,0	7,0±0,0	6,9±0,1	7,0±0,1	7,0±0,0	ns <sup>2</sup>
1	6,8±0,1	-	14,2 ±0,2	-	>20 <sup>3</sup>	-	-
3	7,0±0,1	-	17,3±0,6	-	>20	-	-
5	6,9±0,1	-	17,0±0,5	-	>20	-	-
7	7,0±0,0	-	16,4±0,8	-	>20	-	-
9	7,0±0,0	-	15,4±0,7	-	>20	-	-
11	6,8±0,0	-	14,6±0,8	-	>20	-	-
13	6,9±0,1	-	13,8±0,9	-	>20	-	-
15	6,9±0,0	6,9±0,0	13,6±0,7*	15,6±0,3* <sup>4</sup>	>20	>20	-
18	6,9±0,0	-	13,0±0,6	-	>20	-	-
21	6,9±0,0 <sup>c</sup>	-	12,7±0,5 <sup>b</sup>	-	19,2±0,2 <sup>a5</sup>	-	<0,001
24	6,8±0,1 <sup>c</sup>	-	11,6±0,3 <sup>b</sup>	-	17,9±0,3 <sup>a</sup>	-	<0,001
28	6,9±0,0 <sup>c</sup>	6,9±0,1 <sup>C</sup>	11,6±0,5 <sup>b</sup>	11,8±0,5 <sup>B</sup>	16,7±0,2 <sup>a*</sup>	19,1±0,6 <sup>A*</sup>	<0,001

<sup>1</sup>Os galões não-manipulados permaneceram fechados após as observações iniciais (dia 0), somente sendo reabertos nos dias 15 e 28 (final); <sup>2</sup>Não-significativo (p>0,05); <sup>3</sup>Concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água acima de 20 mg L<sup>-1</sup> ultrapassaram a capacidade de leitura do equipamento (medidor de O<sub>2</sub> dissolvido YSI 55); <sup>4</sup>Em uma mesma dosagem e dia, par de médias com asteriscos são significativamente diferentes entre si pelo teste *t* de Student; <sup>5</sup>Em um mesmo dia, médias com distintas letras minúsculas e maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Holm-Sidak (p<0,05), para os galões manipulados e não-manipulados, respectivamente.

**Obs.:** Os galões experimentais foram manipulados (MP) ou não (NMP), durante o período de observação (média±d.p.; n=4).

Nos galões que receberam 2,0 mL L<sup>-1</sup> de P35, o pico de O<sub>2</sub> dissolvido na água foi observado três dias após a aplicação, quando a concentração de O<sub>2</sub> superou 17,0 mg L<sup>-1</sup>. A

partir daí, a concentração de O<sub>2</sub> começou a cair, sendo significativamente menor quatro dias após, isto é, no 7º dia após a aplicação (Tab. 04). Esse resultado sugere que a estabilização química da água, após a aplicação do peróxido de hidrogênio em 2,0 mL L<sup>-1</sup>, aconteceu somente após três dias de sua aplicação. Logo, a água superoxigenada, produzida pela aplicação de 2 mL L<sup>-1</sup> de P35, somente teria alcançado a estabilidade química, sendo segura para uso em tanques de aquicultura já povoados, após três dias de seu preparo.

**Tabela 03:** Percentual de saturação de O<sub>2</sub> dissolvido na água, após uma única aplicação de peróxido de hidrogênio a 35% (P35), em diferentes dosagens. Os galões experimentais foram manipulados (MP) ou não (NMP) durante o período de observação (média±d.p.; n=4).

Dia	Aplicação P35 (mL L <sup>-1</sup> )						P
	0,0		2,0		4,0		
	MP	NMP <sup>1</sup>	MP	NMP	MP	NMP	
0	86,2±1	87,5±0	87,5±0	86,2±1	87,5±1	87,5±0	ns <sup>2</sup>
1	85,0±1	-	177,5±2	-	>250 <sup>3</sup>	-	-
3	87,5±1	-	216,0±7	-	>250	-	-
5	86,2±1	-	212,5±6	-	>250	-	-
7	87,5±0	-	205,0±10	-	>250	-	-
9	87,5±0	-	192,5±8	-	>250	-	-
11	85,0±0	-	182,5±10	-	>250	-	-
13	86,2±1	-	172,5±11	-	>250	-	-
15	86,2±0	86,2±0	170,0±8*	195,0±4* <sup>4</sup>	>250	>250	-
18	86,2±0	-	162,5±7	-	>250	-	-
21	86,2±0 <sup>C</sup>	-	158,7±6 b	-	240,0±2 <sup>a5</sup>	-	<0,001
24	85,0±1 <sup>C</sup>	-	145,0±4 b	-	223,7±4 <sup>a</sup>	-	<0,001
28	86,2±0 <sup>C</sup>	86,2±1 <sup>C</sup>	145,0±6 b	147,5±6 <sup>B</sup>	208,7±2 <sup>a*</sup>	238,7±7 <sup>A*</sup>	<0,001

<sup>1</sup>Os galões não-manipulados permaneceram fechados após as observações iniciais (dia 0), somente sendo reabertos nos dias 15 e 28 (final); <sup>2</sup>Não-significativo (p>0,05); <sup>3</sup> Percentuais de saturação de O<sub>2</sub> dissolvido na água acima de 250% ultrapassaram a capacidade de leitura do equipamento (medidor de O<sub>2</sub> dissolvido YSI); <sup>4</sup>Em uma mesma dosagem e dia, par de médias com asteriscos são significativamente diferentes entre si pelo teste *t* de Student; <sup>5</sup>Em um mesmo dia, médias com distintas letras minúsculas e maiúsculas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Holm-Sidak (p<0,05), para os galões manipulados e não-manipulados, respectivamente.

Desse modo, a água superoxigenada deveria ser preparada e estocada com uma antecedência mínima de três dias, do início do ciclo de produção, para eventual uso ao longo do cultivo. No último dia de monitoramento, isto é, no 28º dia após a aplicação de P35, embora houvesse bem menos O<sub>2</sub> na água do que no dia de pico, ainda havia mais O<sub>2</sub> do que no dia inicial (p<0,05). Caso a vedação da boca dos galões experimentais fosse melhor, as concentrações finais de O<sub>2</sub> dissolvido na água estariam próximas à máxima possível, na dosagem de aplicação empregada. Nesse caso, a concentração final de O<sub>2</sub> dissolvido na água

estaria próximo a 17,0 mg L<sup>-1</sup>, e não 11,6 mg L<sup>-1</sup> como foi observado nos galões que receberam a aplicação de 2 mL P35 L<sup>-1</sup>.

**Tabela 04:** Concentração de O<sub>2</sub> dissolvido na água, em mg L<sup>-1</sup>, após uma única aplicação de peróxido de hidrogênio 35% (P35), em galões manipulados.

Dia após a aplicação	Aplicação P35 <sup>1</sup> (mL L <sup>-1</sup> )		
	0,0	2,0	4,0 <sup>2</sup>
0	6,9±0,1	7,0±0,0 <sup>i</sup>	7,0±0,1 <sup>d</sup>
1	6,8±0,1	14,2±0,2 <sup>de</sup>	-
3	7,0±0,1	17,3±0,6 <sup>a</sup>	-
5	6,9±0,1	17,0±0,5 <sup>ab</sup>	-
7	7,0±0,0	16,4±0,8 <sup>b</sup>	-
9	7,0±0,0	15,4±0,7 <sup>c</sup>	-
11	6,8±0,0	14,6±0,8 <sup>d</sup>	-
13	6,9±0,1	13,8±0,9 <sup>ef</sup>	-
15	6,9±0,0	13,6±0,7 <sup>ef</sup>	-
18	6,9±0,0	13,0±0,6 <sup>fg</sup>	-
21	6,9±0,0	12,7±0,5 <sup>g</sup>	19,2±0,2 <sup>a</sup>
24	6,8±0,1	11,6±0,3 <sup>h</sup>	17,9±0,3 <sup>b</sup>
28	6,9±0,0	11,6±0,5 <sup>h</sup>	16,7±0,2 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>Médias, em uma mesma coluna, com letras distintas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Holm-Sidak (p<0,05). Ausência de letras indica que as diferenças existentes entre as médias não são significativas. <sup>2</sup>Os resultados para os dias 1 – 18 não estão disponíveis porque as concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água ultrapassaram o limite de leitura do equipamento (>20 mg L<sup>-1</sup>). Média±d.p. (n=4).

Nos galões que receberam 4,0 mL L<sup>-1</sup> de P35, somente foi possível registrar as concentrações de O<sub>2</sub> a partir do 21º dia, após a aplicação do produto na água. Nos dias anteriores, as concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água ultrapassaram o limite de leitura do equipamento, que é igual a 20 mg L<sup>-1</sup>. Nesses galões, as concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água decresceram de modo significativo a partir do 21º dia após a aplicação do produto. No final, isto é, no 28º dia de monitoramento, havia menos O<sub>2</sub> na água do que nos dias anteriores, dias 21 e 24 (p<0,05; Tab. 04), porém mais do que o observado no dia inicial. Embora não tenha sido possível determinar a concentração máxima de O<sub>2</sub> nos galões que receberam a aplicação de 4 mL P35 L<sup>-1</sup>, esse valor (>20 mg L<sup>-1</sup>) superou a maior concentração de O<sub>2</sub> observada nos galões com aplicação de 2 mL P35 L<sup>-1</sup> (17,3 mg L<sup>-1</sup>). Ao final, mesmo tendo havido escape de O<sub>2</sub> para atmosfera, ainda havia 16,7±0,2 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, nos galões com aplicação de 4 mL L<sup>-1</sup>, contra apenas 11,6±0,5 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, nas unidades que receberam 2,0 mL L<sup>-1</sup>. Logo, a dosagem de 4,0 mL P35 L<sup>-1</sup> foi mais efetiva na produção de água superoxigenada, do que a dosagem de 2,0 mL L<sup>-1</sup>.

Entretanto, como não foi possível se registrar as concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água, na aplicação de 4,0 mL L<sup>-1</sup>, entre os dias 1 a 18, não se conseguiu determinar o momento a partir do qual a água superoxigenada se tornou quimicamente estabilizada. Semelhante ao ocorrido nos galões com aplicação de 2 mL P35 L<sup>-1</sup>, as concentrações de O<sub>2</sub>

dissolvido na água seriam ainda maiores caso a vedação dos galões fosse melhor ou não houvesse manipulação das unidades. Tal suposição foi confirmada nos galões “não-manipulados” que receberam a aplicação de  $4,0 \text{ mL L}^{-1}$ , nos quais a concentração final de  $\text{O}_2$  dissolvido na água chegou a  $19,1 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$  ou quase 240% de saturação.

As dosagens de aplicação de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , utilizadas no presente trabalho, isto é,  $2,0 \text{ mL P35 L}^{-1}$  e  $4,0 \text{ mL P35 L}^{-1}$  corresponderam às aplicações de  $700 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$  e  $1400 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente (Tab. 01). Essas dosagens de aplicação são muitas vezes superiores às recomendadas por Lima *et al.* (2012),  $5 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$ , e por Furtado *et al.* (2014),  $29 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$ . Logo, aplicações de  $700 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$  e  $1400 \text{ mL H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-3}$  podem ser consideradas megadoses de peróxido de hidrogênio.

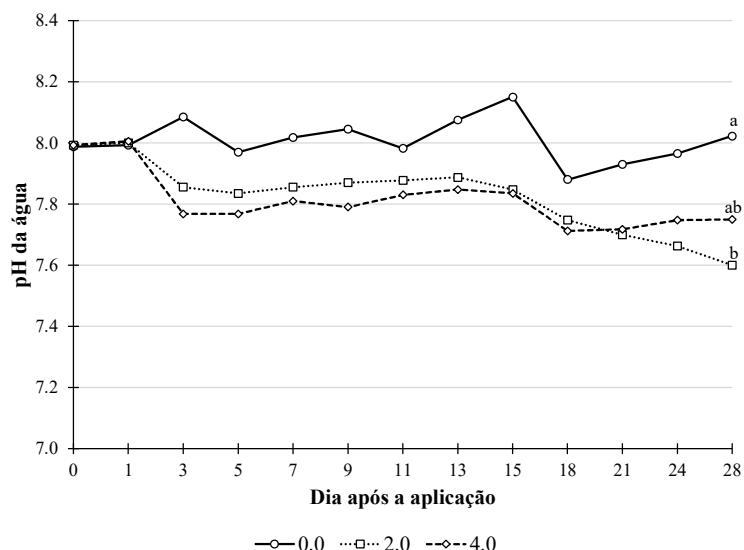
A manipulação, ou seja, a abertura dos galões interferiu negativamente na concentração de  $\text{O}_2$  dissolvido na água e, conseqüentemente, no percentual de saturação da água com  $\text{O}_2$ . No 15º dia após a aplicação de P35, na dosagem de  $2,0 \text{ mL L}^{-1}$ , havia significativamente mais  $\text{O}_2$  nos galões não manipulados. Nesses galões, entretanto, as concentrações finais de  $\text{O}_2$  (dia 28), assim como os percentuais de saturação, não diferiram entre os galões não-manipulados e manipulados ( $p > 0,05$ ; Tabs. 02 e 03). A manipulação dos galões, ou seja, a remoção das tampas foi necessária para realizar as leituras periódicas de  $\text{O}_2$  dissolvido, temperatura e pH da água. Em uma situação real, isto é, não experimental, os galões contendo a água superoxigenada permaneceriam lacrados até o momento do uso. Portanto, os resultados obtidos nos galões não-manipulados refletem melhor as alterações esperadas nas concentrações de  $\text{O}_2$  dissolvido na água, em situações concretas. Não obstante, espera-se uma redução expressiva na concentração de  $\text{O}_2$  da água superoxigenada, quando armazenada em recipientes não devidamente lacrados, independentemente da manipulação do galão. Como as águas supersaturadas perdem espontaneamente  $\text{O}_2$  para atmosfera (LI *et al.*, 2013), haverá, de modo inevitável, uma pressão para escape de  $\text{O}_2$  dissolvido em águas superoxigenadas. Logo, somente a vedação perfeita da boca do recipiente poderia impedir que o  $\text{O}_2$  dissolvido em águas supersaturadas seja perdido para atmosfera.

O pH da água, após a aplicação de P35, sofreu leve, mas significativa queda, em relação ao pH observado nos galões que não receberam a aplicação do produto. Ao final, os valores de pH da água nos galões com P35 ( $2,0$  e  $4,0 \text{ mL L}^{-1}$ ) e sem P35 foram iguais a  $7,69 \pm 0,07$  e  $8,02 \pm 0,01$ , respectivamente (Fig. 01;  $p < 0,05$ ). O peróxido de hidrogênio 35% p.a., quando puro, é uma solução extremamente ácida ( $\text{pH} = 1,0 - 3,5$ ). Entretanto, as dosagens de aplicação de P35 na água, utilizadas no presente trabalho, foram muito diluídas, a saber: 500 e 250 vezes para as aplicações de 2 e  $4 \text{ mL L}^{-1}$ , respectivamente. Com isso, o efeito acidificante do produto no volume receptor de água foi mínimo, incapaz de afastar o pH da água da faixa moderadamente alcalina. Além disso, os volumes de água nos quais se fez a aplicação do peróxido de hidrogênio estavam desprovidos de animais aquáticos.

Apesar de sua inegável capacidade para oxigenar a água, o uso rotineiro do peróxido de hidrogênio na aquicultura pode ser problemático por conta de seu alto poder oxidante (SINHA *et al.*, 2020). Manipulações constantes de peróxido de hidrogênio podem causar graves acidentes no pessoal do laboratório. Atualmente, existe uma alternativa mais segura ao peróxido de hidrogênio, que é o percarbonato de sódio ( $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ ). O percarbonato de sódio, ao ser aplicado na água, libera prontamente  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Por ser um produto granulado, o percarbonato de sódio é mais seguro e fácil de manusear que a solução de



peróxido de hidrogênio. O percarbonato de sódio, entretanto, pode elevar muito o pH da água, podendo estressar ou, até mesmo, matar os organismos cultivados. Esse risco é especialmente elevado em tanques que apresentam concentrações elevadas de amônia na água (PEDERSEN e PEDERSEN, 2012).



**Figura 01:** Medidas do pH da água após uma única aplicação de peróxido de hidrogênio a 35%, em diferentes dosagens (0.0; 2.0 e 4.0 mL L<sup>-1</sup>; n=4). **Obs.:** No último dia de monitoramento, médias com letras distintas são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey (p<0.05).

## CONCLUSÕES

Água superoxigenada quimicamente estabilizada, para uso emergencial em tanques de aquicultura, poderá ser preparada pela aplicação de 2,0 mL L<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio 35% p.a., em água doce limpa. Após o preparo, um tempo mínimo de carência de três dias deverá ser respeitado para uso da água superoxigenada nos tanques de criação. Embora a aplicação de 4,0 mL L<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio tenha levado a concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido na água ainda maiores, a falta de observação do tempo de estabilização química impossibilita seu uso com segurança. Concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido superiores a 15 mg L<sup>-1</sup> (saturação O<sub>2</sub> > 200%) poderão ser mantidas por, no mínimo, 28 dias, caso a vedação dos galões contendo a água superoxigenada seja apropriada.

## REFERÊNCIAS

- ARVIN, E.; PEDERSEN, L.F. Hydrogen peroxide decomposition kinetics in aquaculture water. *Aquacultural Engineering*, v.64, p.1-7, 2015.
- AVEDAÑO-HERRENA, R.; MARGARIÑOS, B.; IRGANG, R.; TORANZO, A.E. Use of hydrogen peroxide against the fish pathogen *Tenacibaculum maritimum* and its effect on infected turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, v.257, p.104-110, 2006.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers, 1998. 698p.

FURTADO, P.S.; SERRA, F.P.; POERSH, L.H.; WASIELESKY JR., W. Acute toxicity of hydrogen peroxide in juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc technology systems. *Aquaculture International*, v.22, n.2, p.653-659, 2014.

HODKOVICOVA, N.; CHMELOVA, L.; SEHONOVA, P.; BLAHOVA, J.; DOUBKOVA, V.; PLHALOVA, L.; FIORINO, E.; VOJTEK, L.; VICENOVA, M.; SIROKA, Z. The effects of a therapeutic formalin bath on selected immunological and oxidative stress parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Science of Total Environment*, v.653, p.1120–1127, 2019.

LI, R.; HODGES, B.R.; FENG, J.; YONG, X. Comparison of supersaturated total dissolved gas dissipation with dissolved oxygen dissipation and reaeration. *Journal of Environmental Engineering*, v.139, n.3, p.385-390, 2013.

LIMA, J.P.V.; BRITO, L.O.; COSTA, W.M.; COSTA, W.M.; GÁLVEZ, A.O. Utilização de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) no incremento de oxigênio dissolvido em cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v.17, n.1, p.73-77, 2012.

MAHANAND, S.S.; PANDEY, P.K. Application of biofloc technology for sustainable aquaculture development. In: MOHANTY, B.P. (Ed.) *Advances in Fish Research*, vol. VII. Cap. 15. Narendra Publishing House, Delhi, India, p.263-274, 2019.

MOHAMMED, H.H.; ARIAS, C.R. Potassium permanganate elicits a shift of the external fish microbiome and increases host susceptibility to columnaris disease. *Veterinary Research*, v.46, p.82-87, 2015.

PEDERSEN, L.F.; PEDERSEN, P.B. Hydrogen peroxide application to a commercial recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, v.46, p.40-46, 2012.

ROQUE, A.; YILDIZ, H.Y.; CARAZO, I.; DUNCAN, N. Physiological stress responses of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) to hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) exposure. *Aquaculture*, v.304, p.104-107, 2010.

RUSSO, R.; CURTIS, E.E.; YANONG, R.P.E. Preliminary investigations of hydrogen peroxide treatment of selected ornamental fishes and efficacy against external bacteria and parasites in green swordtails. *Journal of Aquatic Animal Health*, v.19, p.121–127, 2007.

SINHA, A.K.; ROMANO, N.; SHRIVASTAVA, J.; MONICO, J.; BISHO, W.M. Oxidative stress, histopathological alterations and antioxidant capacity in different tissues of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) exposed to a newly developed sodium carbonate peroxyhydrate granular algaecide formulated with hydrogen peroxide. *Aquatic Toxicology*, v.218, p.105348, 2020.

TAYLOR, N. I.; ROSS, L.G. The use of hydrogen peroxide as a source of oxygen for the transportation of live fish. *Aquaculture*, v.70, p.183-192, 1988.