



Eficiência de *Lithothamnium spp.* na manutenção da qualidade de água em sistemas aquícolas com interface água-sedimento

Milena Sousa Veiga*  Renan Rodrigues de Campos  Claucia Aparecida Honorato da Silva 
Daniel Ferreira Rodrigues de Oliveira  Michelle Pinheiro Vetorelli  Daclely Hertes Neu  &
Vanessa Lewandowski 

Universidade Federal da Grande Dourados. Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, Brasil.

Recebido 7 mai 2026 / Aceito 16 mai 2026

Resumo

A qualidade da água é fundamental para o sucesso da aquicultura, sendo o pH, a alcalinidade e a dureza parâmetros essenciais para a estabilidade dos sistemas produtivos. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do *Lithothamnium spp.* na manutenção desses parâmetros em microcosmos com interface água-sedimento, comparando sua eficiência com a cal hidratada e o calcário dolomítico. O experimento foi conduzido por 56 dias, utilizando unidades experimentais contendo solo e água, sob delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (controle, cal hidratada, calcário dolomítico e *Lithothamnium spp.*) e três repetições. Os produtos foram aplicados na água e reaplicados sempre que a alcalinidade fosse inferior a 50 mg L⁻¹. Foram monitorados semanalmente o pH, a alcalinidade e a dureza da água, além de parâmetros químicos do solo ao final do experimento. Os resultados demonstraram que todos os produtos calcários foram eficazes na melhoria da qualidade da água, porém o *Lithothamnium spp.* e a cal hidratada promoveram maiores valores de alcalinidade e dureza em comparação ao calcário. O *Lithothamnium spp.* apresentou desempenho semelhante ao da cal hidratada, com a vantagem de promover elevação mais moderada do pH, indicando maior estabilidade química. No solo, os tratamentos com produtos calcários resultaram em aumento do pH, elevação da concentração de cátions e redução da acidez potencial. Conclui-se que o *Lithothamnium spp.* é uma alternativa eficiente e promissora para o manejo da qualidade da água em sistemas aquícolas, combinando eficácia e maior segurança operacional.

Palavras-chave: calagem, capacidade tampão, dinâmica iônica, microcosmo, sedimento

Abstract - *Lithothamnium spp.* in the maintenance of pH, alkalinity, and hardness in aquaculture systems with a water-sediment interface

Water quality is a key factor for the success of aquaculture systems, with pH, alkalinity, and hardness being essential parameters for environmental stability. This study aimed to evaluate the effect of *Lithothamnium spp.* on the maintenance of these parameters in microcosms with a water-sediment interface, comparing its efficiency with hydrated lime and dolomitic limestone. The experiment was conducted over 56 days using experimental units containing soil and water, arranged in a completely randomized design with four treatments (control, hydrated lime, dolomitic limestone, and *Lithothamnium spp.*) and three replicates. The products were applied directly to the water and reapplied whenever alkalinity dropped below 50 mg L⁻¹. Water quality parameters, including pH, alkalinity, and hardness, were monitored weekly, and soil chemical parameters were evaluated at the end of the experiment. The results showed that all liming materials improved water quality; however, *Lithothamnium spp.* and hydrated lime resulted in higher alkalinity and hardness compared to dolomitic limestone. *Lithothamnium spp.* showed similar performance to hydrated lime, with the advantage of promoting a more moderate increase in pH, indicating greater chemical stability. In the soil, treatments with liming materials increased pH, enhanced cation concentrations, and reduced potential acidity. These findings indicate that *Lithothamnium spp.* is an efficient and promising alternative for water quality management in aquaculture systems, combining effectiveness with improved operational safety.

Keywords: buffering capacity, ionic dynamics, liming, microcosm, sediment

*Autor Correspondente: M.S. Veiga, milenasousaveiga8@gmail.com

Resumen - *Lithothamnium* spp. en el mantenimiento del pH, la alcalinidad y la dureza en sistemas acuícolas con interfaz agua-sedimento

La calidad del agua es un factor clave para el éxito de los sistemas acuícolas, siendo el pH, la alcalinidad y la dureza parámetros esenciales para la estabilidad ambiental. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del *Lithothamnium* spp. en el mantenimiento de estos parámetros en microcosmos con interfaz agua-sedimento, comparando su eficiencia con la cal hidratada y el carbonato calcáreo dolomítico. El experimento se llevó a cabo durante 56 días, utilizando unidades experimentales con suelo y agua, en un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos (control, cal hidratada, calcáreo dolomítico y *Lithothamnium* spp.) y tres repeticiones. Los productos se aplicaron directamente en el agua y se reaplicaron siempre que la alcalinidad fue inferior a 50 mg L⁻¹. Se monitorearon semanalmente el pH, la alcalinidad y la dureza del agua, además de parámetros químicos del suelo al final del experimento. Los resultados mostraron que todos los materiales calcáreos mejoraron la calidad del agua; sin embargo, el *Lithothamnium* spp. y la cal hidratada promovieron mayores valores de alcalinidad y dureza en comparación con el calcáreo dolomítico. El *Lithothamnium* spp. presentó un desempeño similar al de la cal hidratada, con la ventaja de promover un aumento más moderado del pH, indicando mayor estabilidad química. En el suelo, los tratamientos con materiales calcáreos incrementaron el pH, aumentaron la concentración de cationes y redujeron la acidez potencial. Se concluye que el *Lithothamnium* spp. es una alternativa eficiente y prometedora para el manejo de la calidad del agua en sistemas acuícolas, combinando eficacia y mayor seguridad operativa.

Palabras clave: capacidad tampón, dinámica iónica, encalado, microcosmo, sedimento

Introdução

A qualidade da água é um fator determinante para o sucesso produtivo na aquicultura, influenciando a resistência a patógenos e a expressão do potencial genético dos organismos cultivados (Zhang et al., 2025). Entre os parâmetros essenciais de monitoramento, destacam-se o pH, a alcalinidade e a dureza da água. O pH exerce papel central nos processos fisiológicos dos organismos aquáticos, pois influencia o pH intracelular, na atividade de enzimas biológicas e dependendo de seu valor, pode deslocar o equilíbrio químico de compostos nitrogenados e sulfurados, favorecendo a formação de espécies tóxicas, como amônia não ionizada (NH₃) em pH elevado (pH > 9,0) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) em pH baixo (pH < 6,0) (Sá, 2023).

Na produção aquícola, a estabilidade do pH ao longo do ciclo nictimeral é fundamental para minimizar o estresse fisiológico e prevenir efeitos adversos sobre os organismos aquáticos. Essa estabilidade é determinada principalmente pela alcalinidade da água, que representa sua capacidade tampão, ou seja, a habilidade do sistema em resistir a variações de pH frente à adição de ácidos ou bases (Sá, 2023). A dureza, por sua vez, está associada à concentração de cátions divalentes, como cálcio e magnésio, sendo importante para processos fisiológicos e para a dinâmica iônica do ambiente aquático (Sá, 2023).

Em sistemas aquícolas, especialmente aqueles com fundo de solo, a dinâmica desses parâmetros é fortemente influenciada pela interação entre água e sedimento (Lewandowski et al., 2025; Li et al., 2013). O sedimento atua como um compartimento reativo, podendo consumir alcalinidade por meio da decomposição da matéria orgânica e da produção de dióxido de carbono, além de liberar ou absorver íons que afetam diretamente o pH e a dureza da água (Han & Boyd, 2018; Lewandowski et al., 2025). Essa interação entre água e solo torna a manutenção da estabilidade química mais complexa, exigindo estratégias de manejo que considerem não apenas a coluna d'água, mas também os processos que ocorrem no sedimento.

Dentre essas estratégias, destaca-se a calagem, que consiste na aplicação de materiais alcalinizantes com o objetivo de neutralizar a acidez, elevar a alcalinidade e fornecer cátions essenciais ao sistema (Boyd, 2017). Esse processo envolve reações químicas associadas ao sistema carbonato, nas quais compostos contendo carbonatos, bicarbonatos ou hidróxidos consomem íons hidrogênio (H⁺), promovendo o aumento do pH e da capacidade tampão da água (Boyd, 2020). Tradicionalmente, utilizam-se materiais de origem mineral, como cal hidratada (Ca(OH)₂) e o calcário (CaCO₃ e MgCO₃), que diferem significativamente quanto à sua reatividade e solubilidade (Fitriani et al., 2020; Sá & Boyd, 2017; Sá et al., 2019).

Tanto a cal hidratada quanto o calcário são eficazes na manutenção desses dois parâmetros, porém apresentam diferenças relevantes quanto à solubilidade e ao efeito sobre o pH. Estudos demonstram que a cal hidratada possui maior solubilidade, resultando em elevação rápida do pH, da alcalinidade e da disponibilidade de cálcio, enquanto o calcário, por ser menos solúvel, promove um efeito mais lento e gradual, porém mais estável ao longo do tempo (Fitriani et al., 2020; Han & Boyd, 2018; Sá et al., 2019).

Recentemente, tem sido avaliada a utilização de produtos à base de algas calcárias marinhas do gênero *Lithothamnium spp.* (Corallinaceae), como materiais corretivos em diferentes sistemas produtivos, especialmente na agricultura e pecuária (Carlos et al., 2011; Costa Filho et al., 2025; Mógor et al., 2021; Negreiros et al., 2018). O *Lithothamnium spp.* é constituído predominantemente por carbonato de cálcio, na forma de calcita, e carbonato de magnésio, contendo ainda mais de 20 oligoelementos em proporções variáveis (Dias, 2000). Diferentemente de outros produtos de origem biogênica, o *Lithothamnium spp.* é classificado como fertilizante mineral segundo a Instrução Normativa nº 39/2018 (Brasil, 2018), que considera apenas sua fração mineral. Sua estrutura ultraporosa, de elevada área superficial específica, favorece tanto a rápida dissolução quanto a liberação gradual de íons ao longo do tempo (Ramos et al., 2023). No Brasil, o uso desse produto como material calcário mostra-se promissor, uma vez que o país detém as maiores reservas conhecidas de algas calcárias do mundo, as quais atualmente são pouco exploradas (Ávila et al., 2025).

Apesar do potencial observado em outros sistemas produtivos, a aplicação de materiais biogênicos como o *Lithothamnium spp.* em ambientes aquícolas ainda é pouco compreendida, especialmente em condições que envolvem a interação água-sedimento. Nesses sistemas, a eficiência dos corretivos não depende apenas da composição química, mas também de sua cinética de dissolução e da capacidade de sustentar o equilíbrio químico frente às demandas impostas pelo sedimento. Em função de suas características físico-químicas, o *Lithothamnium spp.* apresenta potencial para associar rápida solubilização inicial a um efeito tamponante mais prolongado, promovendo simultaneamente aumentos eficientes e sustentáveis do pH, da alcalinidade e da dureza da água.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar se a aplicação de *Lithothamnium spp.* na água contribui para a manutenção do pH, da alcalinidade e da dureza em um sistema de microcosmo com interface água-sedimento. Adicionalmente, buscou-se compreender seus mecanismos de ação e investigar seu potencial como alternativa para o manejo da qualidade da água na aquicultura, em substituição aos corretivos convencionais.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Área Aquícola da Universidade Federal da Grande Dourados, ao longo de 56 dias. Foram utilizadas 12 unidades experimentais retangulares, com dimensões de 44,0 x 27,0 x 35,0 cm (comprimento x largura x altura), correspondendo a uma área base de 0,12m² e volume útil de 0,041m³. Em cada unidade foi estabelecido um microcosmo constituído por solo e água, de modo a representar a interação entre esses elementos em viveiros aquícolas, conforme a metodologia descrita por (Han & Boyd, 2018; Li et al., 2013). Para isso, inicialmente, depositou-se uma camada de solo de 3 cm de espessura, sobre a qual foram adicionados 14 L de água e mantidas em ambiente externo, expostas às condições naturais de luminosidade.

Todas as unidades experimentais foram preenchidas com o mesmo tipo de solo e abastecidas com água proveniente de uma única fonte (Tabela 1). O solo utilizado no estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, de textura argilosa (Santos, et al., 2018) e foi coletado na Área Aquícola da Universidade Federal da Grande Dourados (Coordenadas UTM: 712940.78E; 7543800.83S, zona 21S). Para tanto, primeiramente foi realizada uma limpeza da parte superior do solo, seguido da coleta de material a 30 cm de profundidade, com auxílio de picaretas de aço inoxidável e pá cavadeira isentas de revestimento ou pinturas. Em seguida, o solo coletado foi destorroado manualmente e passado em peneira de aço inoxidável com abertura de malha de 2 mm (ABNT nº 10) para obtenção de material uniforme.

Os tratamentos consistiram na aplicação de diferentes produtos calcários diretamente na água: controle (sem adição de produto), cal hidratada (CH), calcário dolomítico (CD) e *Lithothamnium spp.* comercial (LT). As doses foram estabelecidas conforme a natureza de cada produto: para CH, baseou-se em práticas usuais de aplicação em campo; para CD, em recomendações associadas à alcalinidade da água (Senar, 2019) e para LT, conforme indicação do fabricante. Dessa forma, as dosagens adotadas foram: 0,00 g m⁻² (controle); 20,0 g m⁻² de CH; 100,0 g m⁻² de CD e 20,0 g m⁻² de LT. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições cada. Foi utilizado calcário dolomítico, composto de 19% de óxido de magnésio (MgO) e 29% de óxido de cálcio (CaO) e com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 90,1%.

Os materiais foram aplicados na água no início do estudo e a alcalinidade foi monitorada semanalmente. Quando os valores foram inferiores a 50 mg L⁻¹, realizou-se a reaplicação dos produtos, utilizando-se as mesmas doses iniciais. Esse procedimento permitiu determinar a necessidade e a frequência de reaplicação de cada produto.

Tabela 1. Parâmetros iniciais do solo e da água utilizados no estudo.

Solo	Valores
Areia (g kg ⁻¹)	112,00
Silte (g kg ⁻¹)	641,00
Argila (g kg ⁻¹)	247,00
pH	5,70
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,06
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,56
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,03
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,55
Soma das bases trocáveis (SB) (cmol _c dm ⁻³)	4,65
Saturação por bases (V%)	64,58
Saturação por alumínio (m%)	0,00
CTC efetiva (t) (cmol _c dm ⁻³)	4,65
CTC potencial (T) (cmol _c dm ⁻³)	7,20
Água	Valores
pH	6,92
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	118,20
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	26,00
Dureza (mg L ⁻¹)	19,00

A alcalinidade (mg L⁻¹) foi avaliada pelo método de titulação utilizando o indicador fenolftaleína e além desse parâmetro, foram verificados, semanalmente, o pH, dureza total e dureza em cálcio (mg L⁻¹). O pH foi verificado com um multi-parâmetro AKSO SX836 e a dureza total e dureza em cálcio, pelo método de titulação em EDTA.

Ao final do período experimental, foram coletadas amostras de 200 g da parte superior da camada de solo das unidades experimentais e destinadas a análises de parâmetros químicos e matéria orgânica, seguindo metodologia descrita por (Teixeira et al., 2017). Os parâmetros químicos analisados foram pH (CaCl₂), acidez trocável e verificação da concentração de cátions (Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺). O pH do solo foi verificado utilizando solução de CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹. O Al³⁺, Ca²⁺ e o Mg²⁺ trocáveis foram extraídos com KCl neutro a 1,0 mol L⁻¹. Em uma fração do extrato titulou-se o alumínio com NaOH, na presença de azul-de-bromotimol como indicador. O K⁺ foi extraído por solução de Mehlich-1 (solução duplo ácida, composta pela mistura de H₂SO₄ 0,05 mol L⁻¹ e HCl 0,025 mol L⁻¹). O Ca²⁺, e o Mg²⁺ foram determinados por espectrometria de absorção atômica em chama (FAAS) e o K⁺ em fotômetro em chama. Com base nos valores obtidos, foram calculadas as somas das bases trocáveis (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺), CTC efetiva (t = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Al³⁺), CTC potencial (T = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + H⁺ + Al³⁺), saturação por bases (V% = (100 x (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)/T)) e saturação por alumínio (m% = (100 x Al³⁺)/t). A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico.

A análise estatística dos dados dos parâmetros de qualidade de água foram analisados semanalmente, enquanto que as variáveis do solo foram avaliadas ao final do estudo. Inicialmente, foram aplicados testes para verificar a normalidade e a homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada uma Análise de Variância (Anova) e, ao identificar diferença significativa, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey, com um nível de significância de 5%. As análises foram realizadas com o *software* Statistica 7.0.

Resultados

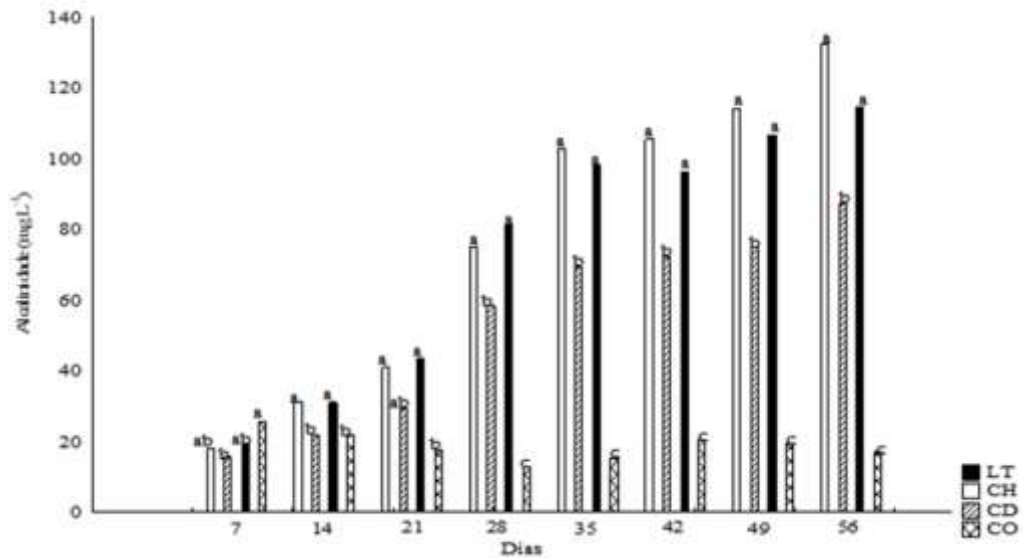
Reaplicação dos produtos e parâmetros da qualidade de água

No presente estudo, foi avaliada a ação de três produtos calcários (CH, CD e LT) na qualidade de água e solo, aplicados em doses específicas. Além da aplicação inicial (dia 0), constatou-se a necessidade de reaplicação no 7º, 14º e 21º dia de estudo. A decisão pela reaplicação foi baseada na alcalinidade da água, utilizando-se como valor de referência a concentração de 50 mg L⁻¹. Aos 28 dias de experimento, a água dos tratamentos que receberam os produtos calcários apresentaram alcalinidade acima de 58 mg L⁻¹. Portanto, a

necessidade de reaplicação dos produtos calcários foi igual entre os tratamentos com produtos calcários, diferindo apenas do controle, no qual não houve aplicação de produto. Considerando a reaplicação dos produtos e as doses aplicadas, para manutenção da alcalinidade acima de 50 mg L^{-1} , durante o período do estudo, foi necessário o uso de 800 kg ha^{-1} de *Lithothamnium spp.* e cal hidratada e 4000 kg ha^{-1} de calcário.

Nos tratamentos em que houve aplicação de produtos calcários, a alcalinidade da água apresentou aumento frequente durante o período experimental (Figura 1). No entanto, a partir dos 28 dias, os valores desse parâmetro foram maiores estatisticamente para a água onde foi realizada a inclusão de CH ou LT, em comparação com o CD ($p < 0,05$). Já no tratamento controle, a alcalinidade da água apresentou queda em relação ao valor inicial ($26,00 \text{ mg L}$), com concentração de $16,66 \pm 4,0 \text{ mg L}^{-1}$ aos 56 dias.

Figura 1. Oscilação da alcalinidade em função da aplicação de diferentes materiais calcários na água durante 56 dias de estudo. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos no respectivo dia de avaliação, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$).



Em relação à dureza total, também observou-se maiores valores quando foi realizada a aplicação de cal hidratada e *Lithothamnium spp.*, em comparação ao calcário (Figura 2a). Após 56 dias, a água onde foi aplicado *Lithothamnium spp.* apresentou médias estatisticamente iguais às da cal hidratada ($159,50 \pm 5,5$ e $182,00 \pm 12,5 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente) ($p > 0,05$). O calcário resultou no menor valor entre os produtos testados, com média final de $131,33 \pm 9,6 \text{ mg L}^{-1}$. A água do tratamento controle manteve os menores valores de dureza, embora tenha apresentado aumento em relação ao valor inicial (32 mg L^{-1}), encerrando o experimento em $79,00 \pm 8,2 \text{ mg L}^{-1}$. A dureza em cálcio apresentou comportamento semelhante, com destaque, ao final do período experimental, para os tratamentos com cal hidratada e *Lithothamnium spp.*, que diferiram estatisticamente do calcário e do controle ($p < 0,05$) (Figura 2b).

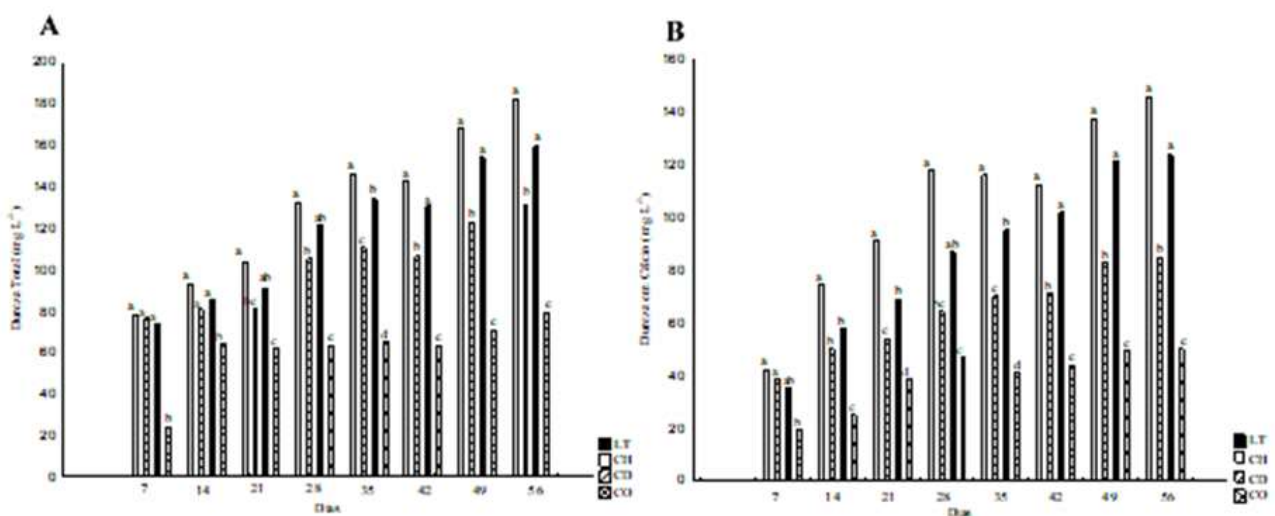
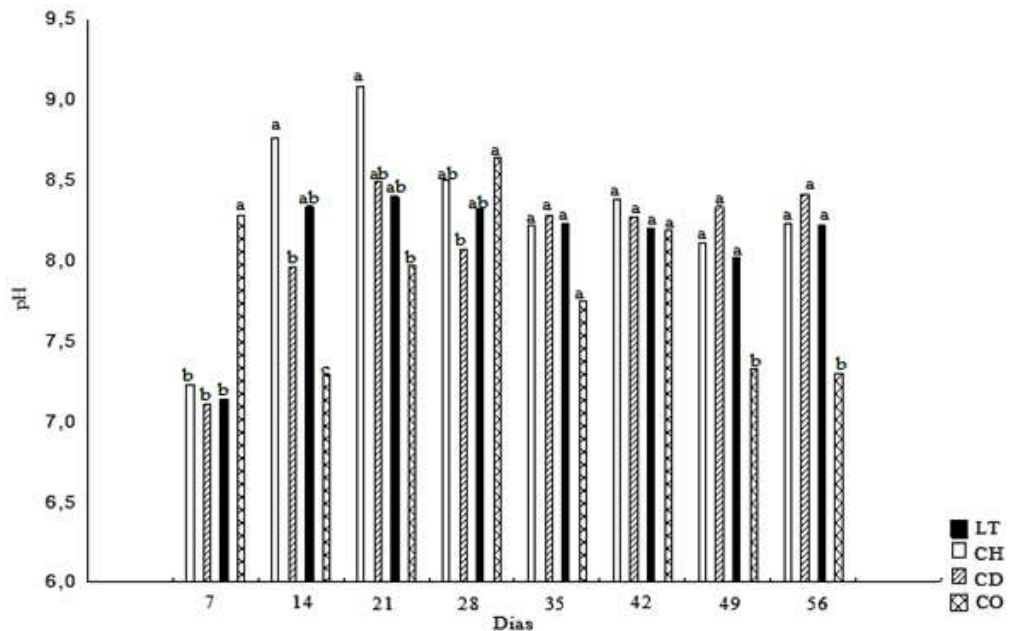


Figura 2. Oscilação da dureza total (A) e dureza em cálcio (B) em função da aplicação de diferentes materiais calcários na água durante 56 dias de estudo. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos no respectivo dia de avaliação, conforme o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O pH da água apresentou variações entre o tratamento controle e aqueles que receberam produtos calcários. Para o tratamento controle, observou-se elevada oscilação ao longo do período experimental, enquanto nos tratamentos com aplicação de corretivos houve elevação inicial do parâmetro, seguida de relativa estabilização após a suspensão das reaplicações, entre os dias 28 e 56 (Figura 3). Ao final do estudo, não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) entre os produtos testados, com médias de $8,21\pm0,2$; $8,22\pm0,2$ e $8,40\pm0,3$ para os tratamentos de *Lithothamnium spp.*, cal hidratada e calcário, respectivamente.

Figura 3. Oscilação do pH em função da aplicação de diferentes materiais calcários na água durante 56 dias de estudo. Letras minúsculas distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos no respectivo dia de avaliação, conforme o teste de Tukey ($p<0,05$).



Parâmetros do solo

O pH do solo dos tratamentos com produtos calcários apresentou valores maiores em relação ao pH inicial e não houve diferença estatística entre si, com valores finais de $6,33\pm0,4$; $6,63\pm0,2$ e $6,30\pm0,1$ para o tratamento *Lithothamnium spp.*, cal hidratada e calcário, respectivamente (Tabela 2). Houve aumento na concentração de Ca^{2+} no solo, em todos os tratamentos, incluindo o controle. Ao final do estudo, não foi observada diferença estatística na concentração de Ca^{2+} no solo em que foram testados os produtos calcários ($p>0,05$). Já para o Mg^{2+} foi observado uma concentração maior no tratamento com calcário e entre os demais tratamentos não houve diferença estatística ($p<0,05$), com acréscimo em relação ao valor inicial em todos os tratamentos do estudo.

A acidez potencial do solo ($\text{H} + \text{Al}$) diminuiu consideravelmente para os tratamentos com os produtos calcários, em relação ao valor inicial. Inicialmente, o solo base apresentava $2,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de acidez potencial, e ao final do estudo, os valores desse parâmetro foram $1,70\pm0,1$; $1,60\pm0,1$ e $1,6\pm0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o solo do tratamento com *Lithothamnium spp.*, cal hidratada e calcário, respectivamente. Já para o tratamento controle o valor da acidez potencial do solo foi de $2,60\pm0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ sendo semelhante ao valor inicial. Em todos os tratamentos avaliados, incluindo o controle, houve aumento da saturação por bases, mas os maiores valores foram registrados com a adição de produtos calcários, os quais não diferiram estatisticamente entre si ($p>0,05$). Esse parâmetro ficou em $73,7\pm1,5\%$ para o solo do tratamento controle e entre $84,6\pm1,6$ e $86,3\pm1,4\%$ para os solos onde foi adicionado produtos calcários.

Tabela 2. Parâmetros do solo em função da aplicação de *Lithothamnium spp.* (LT), cal hidratada (CH) e calcário dolomítico (CD) na água, após 56 dias de estudo.

Parâmetros	Tratamentos			
	Controle	LT	CH	CD
pH	$5,80\pm0,2a$	$6,30\pm0,4ab$	$6,60\pm0,2b$	$6,30\pm0,1ab$
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$5,50\pm0,3c$	$7,50\pm0,5ab$	$8,70\pm0,8a$	$6,90\pm0,4bc$
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$1,40\pm0,1b$	$1,40\pm0,1b$	$1,40\pm0,1b$	$2,90\pm0,4a$
Acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$2,60\pm0,1$	$1,70\pm0,1$	$1,60\pm0,1$	$1,60\pm0,0$
Saturação por bases (V%)	$73,70\pm1,5b$	$84,60\pm1,6a$	$86,30\pm1,4a$	$86,20\pm0,4a$

Discussão

A aplicação de produtos calcários, visando a neutralização da acidez e a disponibilização de cálcio e magnésio na água é prática comum na piscicultura e os produtos rotineiramente utilizados são calcário agrícola e cal hidratada (Sá et al., 2025). Neste estudo, os três produtos testados, incluindo o *Lithothamnium* spp. foram eficientes para manutenção dos parâmetros da capacidade tampão da água em níveis adequados para a piscicultura, sendo de pH entre 6,5-8,5, alcalinidade e dureza total acima de 40 mg L⁻¹ (Boyd, 2020). Os resultados demonstraram que a eficiência dos materiais calcários na melhoria da qualidade da água está fortemente associada à sua solubilidade e reatividade química, fatores que controlam a liberação de íons na interface água-solo.

No decorrer do estudo, verificou-se que os menores valores de alcalinidade, dureza total e dureza em cálcio estiveram consistentemente associados ao uso do calcário, em comparação à cal hidratada e ao *Lithothamnium* spp. Esse comportamento está diretamente relacionado à baixa solubilidade do calcário em água doce, o que limita a liberação de íons cálcio (Ca²⁺) e carbonato/bicarbonato (CO₃²⁻/HCO₃⁻) para a coluna d'água (Boyd, 2020; Sá et al., 2019). Em água destilada, o calcário pode ser cerca de 85 vezes menos solúvel que a cal hidratada (Sá et al., 2025), o que reduz significativamente sua eficiência em promover alterações rápidas nos parâmetros de qualidade da água. Dessa forma, sua ação tende a ser mais lenta e gradual e pode dificultar a elevação da alcalinidade para valores superiores a 60 mg L⁻¹, quando se realiza a calagem na piscicultura (Boyd et al., 2016).

Esse resultado foi observado mesmo aplicando uma quantia de cinco vezes maior em comparação às doses dos outros produtos testados. A utilização de doses distintas entre os materiais calcários foi baseada em critérios práticos de manejo, considerando recomendações técnicas específicas para cada produto. Essa abordagem buscou reproduzir condições reais de aplicação em sistemas aquícolas, nas quais diferentes insumos são utilizados conforme suas orientações de uso. Assim, os resultados refletem não apenas a eficiência química dos materiais, mas também sua eficiência operacional, incluindo aspectos como resposta do sistema e necessidade de reaplicação.

No caso da cal hidratada e do *Lithothamnium* spp., cuja dose aplicada foi de 20g m⁻², observou-se elevada eficiência mesmo com menor quantidade de produto. Esse resultado representa um aspecto relevante para a produção aquícola, pois está associado à redução do uso de insumos, a diminuição de custos de produção e a maior facilidade operacional no manejo de calagem. Adicionalmente, destaca-se que o calcário utilizado apresentava PRNT de 90,1%, sendo classificado no grupo D, conforme a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 35/2006 (Brasil, 2006), que reúne calcários de maior eficiência relativa.

A cal hidratada, por sua vez, apresentou rápida elevação dos parâmetros de qualidade da água, refletindo sua alta solubilidade e dissociação quase imediatas. Esse comportamento é amplamente descrito na literatura e está associado à liberação direta de íons hidroxila, promovendo aumento do pH e maior disponibilidade de carbonatos (Sá & Boyd, 2017; Sá et al., 2019). No entanto, esse efeito rápido pode representar um risco operacional, uma vez que elevações abruptas de pH podem causar estresse fisiológico ou mortalidade em organismos aquáticos. Por exemplo, as médias de pH da água no 7º, 14º e 21º dias de estudo, nos quais houve a reaplicação dos produtos, foram de 7,2; 8,8 e 9,1, respectivamente. Esses valores foram maiores estatisticamente aos observados quando se aplicou *Lithothamnium* spp. e calcário dolomítico.

O *Lithothamnium* spp. apresentou desempenho estatisticamente semelhante ao da cal hidratada quanto à alcalinidade e à dureza da água, porém promoveu uma elevação mais moderada do pH, o que sugere um mecanismo de dissolução gradual. Esses resultados indicam que sua estrutura porosa e composição mineral favorecem uma liberação mais equilibrada de íons, combinando eficiência e segurança operacional. Assim, o *Lithothamnium* spp. pode representar uma alternativa tecnicamente viável, especialmente em sistemas já povoados, nos quais variações abruptas de pH podem ser prejudiciais.

Na aquicultura, o *Lithothamnium* spp. foi investigado principalmente como suplemento mineral na nutrição de camarões *Penaeus vannamei*, com resultados positivos no desempenho produtivo em níveis de inclusão de 2% (Costa Filho et al., 2025). No entanto, ainda são escassas as informações sobre seu uso como corretivo para manutenção da capacidade tampão da água. Essa aplicação tem sido mais amplamente explorada na agricultura, onde o produto apresenta efeitos positivos como bioestimulante e promotor de desenvolvimento vegetal (Mógor et al., 2021; Negreiros et al., 2018; Ramos et al., 2023).

Os efeitos favoráveis do *Lithothamnium* spp. como produto calcário são atribuídos a características específicas que o diferenciam de outras fontes de carbonato, como sua natureza bioclástica, elevada pureza, alta porosidade e grande área superficial específica (Oliveira et al., 2025). Essas características explicam os efeitos observados no presente estudo, em função de sua aplicação na água. Nesse contexto, (Silva et al., 2021)

compararam o carbonato de cálcio derivado de *Lithothamnium* spp. com fontes provenientes de conchas de ostras e minerais inorgânicos sintéticos utilizados na indústria farmacêutica, observando diferenças marcantes na morfologia das partículas. O material de *Lithothamnium* spp. apresentou morfologia granular xenomórfica (partículas < 2 µm), em contraste com a forma escalenoédrica dos minerais sintéticos e a estrutura lamelar das conchas de ostra. Além disso, foi caracterizado como um material ultraporoso (poros < 7 Å) e apresentou maior área superficial específica (8,1 m² g⁻¹) entre as amostras.

A morfologia xenomórfica, resultante de processos de crescimento biogênico e precipitação desorganizada, confere ao material uma estrutura cristalina irregular, altamente porosa e fragmentada (Dias, 2000). Como consequência, há aumento da área superficial específica e do número de sítios reativos expostos, o que amplia a interface sólido-líquido e favorece maiores taxas de dissolução, refletindo em maior eficiência na liberação de íons para o meio aquoso. Portanto, essas propriedades explicam a eficiência do produto observada no presente estudo. Ao disponibilizar cálcio e carbonatos ao meio aquático, há influência direta no pH, alcalinidade e dureza da água. Além disso, essas características fundamentam o fato dos resultados observados com a aplicação de *Lithothamnium* spp. serem mais positivos a adição de calcário, mesmo em dose inferior.

Neste estudo, os resultados evidenciam a importância do uso de produtos calcários para regular o pH, tendo em vista que houve grande flutuação desse parâmetro no tratamento controle. As flutuações no pH são decorrentes da interação entre processos de fotossíntese e respiração: durante a noite, a respiração eleva as concentrações de CO₂, promovendo a formação de ácido carbônico e a redução do pH; durante o dia, a assimilação de CO₂ pelo fitoplâncton na fotossíntese resulta no aumento do pH (Boyd, 2020; Sá, 2023). Variações acentuadas ao longo do ciclo nictimeral e ao longo do tempo podem causar estresse nos organismos aquáticos. Nesse sentido, a maior estabilidade do pH observada nos tratamentos com calagem reforça o papel da alcalinidade na atenuação dessas oscilações. No tratamento controle, a maior variabilidade está associada à dinâmica do fitoplâncton e à baixa capacidade tampão, uma vez que as unidades experimentais foram mantidas em ambiente externo, permitindo o desenvolvimento natural de fitoplâncton.

Os produtos calcários também foram eficientes para melhoria dos atributos do solo, promovendo a elevação do pH, aumento da concentração de cátions divalentes (Ca²⁺ e Mg²⁺), redução da acidez potencial e aumento da saturação por bases. Esses efeitos são particularmente relevantes na piscicultura em viveiros, devido à interação contínua entre solo e água. As trocas de cátions entre esses compartimentos influenciam diretamente parâmetros como alcalinidade, dureza e pH da água. (Lewandowski et al., 2025) demonstraram que a saturação por bases do solo tem efeito significativo sobre esses três parâmetros, sendo que valores mais elevados estão associados a maior capacidade tampão da água. Assim, a melhoria das propriedades químicas do solo contribui diretamente para a estabilidade da coluna d'água, atuando como um sistema tampão adicional e reforçando a importância do manejo integrado solo-água.

Conclusão

A aplicação de materiais calcários na água é eficaz na melhoria e manutenção dos parâmetros de qualidade em sistemas com interface água-sedimento, com diferenças marcantes na dinâmica de resposta entre os produtos avaliados. O *Lithothamnium* spp. destacou-se por apresentar desempenho semelhante ao da cal hidratada na elevação da alcalinidade e da dureza, aliado a uma variação mais moderada do pH, indicando um comportamento intermediário entre rapidez de resposta e estabilidade química. Além disso, a eficiência observada para a cal hidratada e o *Lithothamnium* spp. em menores doses reforça seu potencial de uso sob a perspectiva operacional, contribuindo para a redução do uso de insumos e maior praticidade de manejo. Dessa forma, o *Lithothamnium* spp. se configura como uma alternativa promissora para o manejo da qualidade da água na aquicultura.

Agradecimentos

À Universidade Federal da Grande Dourados pelo espaço para realização de estudos e análises e a empresa Oceana Minerals pela doação do *Lithothamnium* testado.

Referências

Ávila, L. R., Cruz, F. K., Leite, B. K. V., & Garcia, E. R. M. (2025). Calcareous Algae (*Lithothamnium calcareum*) as an alternative source of calcium in commercial layer diets. *Tropical Animal Science Journal*, 48(3), 221–230. <https://doi.org/10.5398/tasj.2025.48.3.221>

- Boyd, C. E. (2017). Use of agricultural limestone and lime in aquaculture. *CABI Reviews*, 1–10. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201712015>
- Boyd, C. E. (2020). *Water quality: An introduction* (3^a). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2006). *Instrução Normativa n° 39, de 8 de agosto de 2018*. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-39-2018-fert-minerais-versao-publicada-dou-10-8-18.pdf>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2018). *Instrução Normativa n° 35, de 4 de julho de 2006*. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf/view>
- Carlos, A. C., Sakomura, N. K., Pinheiro, S. R. F., Toledano, F. M. M., Giacometti, R., & Silva Júnior, J. W. D. (2011). Uso da alga *Lithothamnium calcareum* como fonte alternativa de cálcio nas rações de frangos de corte. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(4), 833–839. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000400025>
- Costa Filho, F., Barbosa, N. S., Brito, L. O., Soares, R., Craveiro, C., Takahashi, V. K., & Peixoto, S. (2025). Acoustic feeding behavior, growth performance and feed consumption using *Lithothamnium* as organic mineral dietary supplement for *Penaeus vannamei* in oligohaline water. *Animal Feed Science and Technology*, 329, 116517. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116517>
- Silva, R. P., Kawai, G. S. D., Andrade, F. R. D. D., Bezzon, V. D. N., & Ferraz, H. G. (2021). Characterisation and traceability of calcium carbonate from the seaweed *Lithothamnium calcareum*. *Solids*, 2(2), 192–211. <https://doi.org/10.3390/solids2020013>
- Oliveira, G. F. P. B., De Cássia Silva, R., Souza, Silva, G., Chapeta, A. C. O., Marinho, L. R. M., Alves, M. M., Simões, J. A. S., Zonta, E., & Pinho, C. F. (2025). Effect of liming using *Lithothamnium calcareum* on atrazine and S-metolachlor leaching and persistence in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(15), 9985–9999. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36334-2>
- Dias, G. T. M. (2000). Granulados bioclásticos: Algas calcárias. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3). <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300008>
- Fitrani, M., Wudtisin, I., & Kaewnern, M. (2020). The impacts of the single-use of different lime materials on the pond bottom soil with acid sulfate content. *Aquaculture*, 527, 735471. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735471>
- Han, Y., & Boyd, C. E. (2018). Effect of organic matter concentration on agricultural limestone dissolution in laboratory soil-water systems. *Aquaculture Research*, 49(10), 3451–3455. doi.org/10.1111/are.13810
- Lewandowski, V., Ferreira Neto, A., Firmino, F., & Neu, D. (2025). Clay soils and the importance of Base Saturation in limestone action and water quality maintenance: An evaluation for freshwater aquaculture setup. *International Aquatic Research*, (Online First). doi.org/10.22034/iar.2025.2009110.1800
- Li, L., Dong, S., Tian, X., & Boyd, C. E. (2013). Equilibrium concentrations of major cations and total alkalinity in laboratory soil-water systems. *Journal of Applied Aquaculture*, 25(1), 50–65. doi.org/10.1080/10454438.2012.758074
- Mógor, A. F., Amatussi, J. O., Mógor, G., & Gemin, L. G. (2021). Biostimulant action of *Lithothamnium* sp. promoting growth, yield, and biochemical and chemical changes on onion. *Journal of Applied Phycology*, 33(3), 1905–1913. doi.org/10.1007/s10811-021-02394-3
- Negreiros, A. M. P., Sales Júnior, R., Maia Júnior, F. F., Silva, R. B., Costa, J. A. P., & Medeiros, E. V. (2018). *Lithothamnium calcareum* nanoparticles increase growth of melon plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 426–431. doi.org/10.15835/nbha47111377
- Ramos, E. P., Ferreira, T. R., Aguiar, D. B. D., Alves, F. L., & Dousseau-Arantes, S. (2023). *Lithothamnium* sp. as biostimulant in plant cultivation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 53, e76273. doi.org/10.1590/1983-40632023v5376273
- Sá, M. (2023). *Limnocultura: Limnologia para aquicultura* (2^a). Blucher.
- Sá, M. V. do C., & Boyd, C. E. (2017). Dissolution rate of calcium carbonate and calcium hydroxide in saline waters and its relevance for aquaculture. *Aquaculture*, 469, 102–105. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.11.033

- Sá, M. V. do C., Ventura, L. R., & Boyd, C. E. (2025). Calcium carbonate is a liming product as good as calcium hydroxide in eutrophic CO₂-rich waters. *Aquaculture*, 595, 741629. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741629
- Sá, M. V. do C., Cavalcante, D., & Lima, F. R. dos S. (2019). Dissolution rates of hydrated lime, Ca(OH)₂ in fresh, oligohaline, mesohaline and euhaline waters and its significance for liming of shrimp culture ponds. *Aquaculture Research*, 50(6), 1618–1625. doi.org/10.1111/are.14039
- Santos, H. G. dos, Paulo Klinger Tito Jacomine, Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. Á. de, Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª edição revista e ampliada). Embrapa.
- Senar. (2019). *Piscicultura: Manejo da água* (V. 262). Senar.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). *Manual de métodos de análise de solos* (3ª). Embrapa.
- Zhang, K., Ye, Z., Qi, M., Cai, W., Saraiva, J. L., Wen, Y., Liu, G., Zhu, Z., Zhu, S., & Zhao, J. (2025). Water quality impact on fish behavior: a review from an aquaculture perspective. *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12985. doi.org/10.1111/raq.12985

Como citar o artigo:

Veiga, M.S., Campos, R.R., Silva, C.A.H., Oliveira, D.F.R., Vetorelli, M.P., Neu, D.H. & Lewandowski, V. (2026). Eficiência de *Lithothamnium* spp. na manutenção da qualidade de água em sistemas aquícolas com interface água-sedimento. *Actapesca*, 24, 132-141.