

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**USO DE CALCÁRIO E QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA
EM SISTEMAS AQUÍCOLAS**

RENAN RODRIGUES DE CAMPOS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2024**

USO DE CALCÁRIO E QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA EM SISTEMAS AQUÍCOLAS

RENAN RODRIGUES DE CAMPOS

Orientador: PROF. Dr. Vanessa Lewandowski

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia de Aquicultura.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C198u Campos, Renan Rodrigues De
USO DE CALCÁRIO E QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA EM SISTEMAS
AQUÍCOLAS [recurso eletrônico] / Renan Rodrigues De Campos. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Vanessa Lewandowski.

TCC (Graduação em Engenharia de Aquicultura)-Universidade Federal da Grande Dourados,
2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Aquicultura. 2. calcário. 3. saturação por bases. 4. solos ácidos. I. Lewandowski, Vanessa. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

USO DE CALCÁRIO E QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZADA EM SISTEMAS AQUÍCOLAS

Por

Renan Rodrigues de Campos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de ENGENHEIRO DE AQUICULTURA

Aprovado em: 02 de dezembro de 2024.

Documento assinado digitalmente
 VANESSA LEWANDOWSKI
Data: 02/12/2024 16:43:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Vanessa Lewandowski
Orientadora – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 ELAINE REIS PINHEIRO LOURENTE
Data: 02/12/2024 20:53:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Elaine Reis Pinheiro Lourente
Membro da Banca – UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 DACLEY HERTES NEU
Data: 02/12/2024 16:47:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dacley Hertés Neu
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão às pessoas que contribuíram de forma significativa para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Em primeiro lugar, à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio emocional e incentivando-me a perseguir meus objetivos. Seu amor e dedicação foram fundamentais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar meus sonhos.

Também gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Vanessa Lewandowski, por sua orientação, apoio e incentivo durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência, conhecimento e visão crítica foram essenciais para que eu pudesse produzir um trabalho de qualidade e alcançar meus objetivos.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse alcançar meus objetivos e concluir este importante capítulo da minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 AQUICULTURA E PISCICULTURA BRASILEIRA	2
2.2 VIVEIROS ESCAVADOS E SOLOS NA PISCICULTURA.....	3
2.3 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO	4
2.4 PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO.....	5
2.5 QUALIDADE DE ÁGUA NA PISCICULTURA	5
2.6 MATERIAIS CALCÁRIOS NA PISCICULTURA.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5 CONCLUSÃO	17
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Propriedades do solo que influenciam no manejo em viveiros	4
TABELA 2. Parâmetros químicos, físicos e matéria orgânica inicial do solo utilizado no estudo.	9
TABELA 3. Parâmetros iniciais da qualidade de água utilizada no estudo.	10
TABELA 4. Parâmetros químicos da água após 21 dias de contato com solo contendo alumínio, com e sem inclusão de calcário.	13
TABELA 5. Parâmetros do solo ao final do período experimental.....	14

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Oscilação da dureza da água em função dos tratamentos ao longo do período experimental.	12
FIGURA 2. Oscilação do pH e alcalinidade em função dos tratamentos ao longo do período experimental.	13

CAMPOS, Renan Rodrigues da. **Aplicação de calcário como forma de minimizar efeito negativo do alumínio presente no solo na qualidade de água**. 2024. 19p. Monografia (Graduação em Engenharia de Aquicultura) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

Este trabalho avaliou o efeito da aplicação de calcário como método para minimizar os impactos negativos do alumínio presente no solo na qualidade da água utilizada em sistemas aquícolas. O estudo foi realizado no Laboratório de Produção Aquícola da Universidade Federal da Grande Dourados, utilizando solos ácidos e água de média alcalinidade. Foram testados três tratamentos: aplicação de calcário com base na saturação por bases do solo, com base nas características da água e um controle sem adição de calcário. Os resultados demonstraram que a aplicação de calcário, especialmente pelo método de saturação por bases, foi eficaz em manter parâmetros críticos de qualidade da água, como pH, alcalinidade e dureza, dentro dos níveis ideais para a produção de organismos aquáticos. O pH foi mantido em níveis neutros nos tratamentos com calcário, enquanto o controle apresentou acidificação. A alcalinidade e dureza também aumentaram significativamente com o uso do calcário, proporcionando maior estabilidade química e melhores condições para o cultivo. Além disso, o solo tratado apresentou melhorias em parâmetros como saturação por bases e redução da saturação por alumínio, contribuindo para um ambiente mais adequado à produção. Os resultados confirmam a importância da calagem como prática de manejo em sistemas de aquicultura, destacando a eficiência do método baseado na saturação por bases do solo. Recomenda-se a aplicação criteriosa de calcário com monitoramento contínuo da qualidade da água para otimizar a produção e garantir sustentabilidade.

Palavras-chave: aquaculture, Lime, Base Saturation, Acidic Soils.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of limestone application as a method to minimize the negative impacts of aluminum in soil on water quality used in aquaculture systems. The study was conducted at the Aquaculture Production Laboratory of the Federal University of Grande Dourados, using acidic soils and medium alkalinity water. Three treatments were tested: limestone application based on soil base saturation, limestone application based on water characteristics, and a control without limestone addition. The results demonstrated that limestone application, particularly using the base saturation method, was effective in maintaining critical water quality parameters such as pH, alkalinity, and hardness within optimal levels for aquatic organism production. The pH was maintained at neutral levels in the treatments with limestone, whereas the control exhibited acidification. Alkalinity and hardness also increased significantly with limestone application, providing greater chemical stability and better conditions for cultivation. Additionally, treated soils showed improvements in parameters such as base saturation and reduced aluminum saturation, contributing to a more suitable environment for production. The findings confirm the importance of liming as a management practice in aquaculture systems, highlighting the efficiency of the method based on soil base saturation. It is recommended to apply limestone carefully and continuously monitor water quality to optimize production and ensure sustainability.

Keywords: Aquaculture; acidic soils; base saturation; limestone; water quality.

1 INTRODUÇÃO

Os organismos aquáticos podem ser cultivados em diferentes tipos de unidades de produção, como viveiros, tanques e gaiolas. Entre eles, os viveiros se destacam e são as principais estruturas de produção na aquicultura mundial (DUAN et al., 2020). O mesmo ocorre no Brasil, no qual tem como destaque a produção de peixes de água doce e os viveiros correspondem a 84% das unidades de produção desses animais (PEIXE BR, 2020).

Os viveiros são caracterizados como estruturas de terra que delimitam um espaço no qual a água utilizada na produção irá ficar acondicionada por um certo período (TIDWELL, 2012). Segundo esse autor, devido a residência hidráulica, ocorrerá a formação de um ecossistema natural na água e sua qualidade será influenciada por fatores físicos, químicos e biológicos que ocorrerão no interior dessas unidades de produção.

Os solos apresentam distintas características, as quais irão influenciar na construção dos viveiros e na qualidade de água do ecossistema que será formado (MUSTAFA et al., 2018; SOUZA et al., 2021). Dentre os parâmetros do solo, devem ser verificados a textura, pH, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica (BOYD, 1995). A composição química do solo deve ser verificada, pois na produção de organismos aquáticos em viveiros, há a interação entre água-solo-biota, analogamente como ocorre em relações solo-planta-biota, na agricultura (BARUA & GHANI, 2012).

Uma prática comum na aquicultura é a aplicação de calcário ou cal antes e/ou durante o cultivo a fim de aumentar o pH, alcalinidade e dureza da água de produção de organismos aquáticos. Diferentes métodos são utilizados para definição das doses necessárias na aplicação desses produtos, como pH do sedimento do viveiro e pH e/ou alcalinidade da água, sendo esse o método mais comum. A alcalinidade e dureza da água apresentam correlação positiva com a saturação de bases do solo e com base nisso, pode ser utilizado para a determinação da calagem (BOYD, 1974; SILAPAJARN et al., 2005). A saturação de bases (V%), indica o percentual dos cátions que estão disponíveis para troca no solo, que são compostos pela soma de bases (S) composta por Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , em relação a capacidade de troca de cátions (CTC) de forma que $V (\%) = S / \text{CTC} \times 100$.

Esse método de cálculo baseia-se na determinação do calcário necessário para elevação da saturação de bases do solo/sedimento do viveiro para 80%, uma vez que, com esse percentual, seria observado valores de alcalinidade de dureza adequados para a produção de organismos aquáticos (BOYD, 1974; SILAPAJARN et al., 2005).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aquicultura e piscicultura brasileira

A aquicultura refere-se à produção de organismos vegetais ou animais que possuem todo ou parte de seu ciclo de vida no meio aquático, como peixe, camarões, moluscos, rãs, entre outros. A produção global de pescado (Aquicultura e pesca) atingiu 223,2 milhões de toneladas em 2022, sendo que desse total, 83% referem-se a animais aquáticos e 17% às algas (FAO, 2024). Pela primeira vez, a aquicultura superou a pesca como fonte de animais aquáticos, representando 51% (94,4 milhões de toneladas) (FAO, 2024). A China é o maior produtor mundial, responsável por mais de 60% da produção global, seguida por países como Índia, Indonésia e Vietnã.

A produção aquícola é dividida de acordo com os ambientes aquáticos, em dulcícola e marinha, sendo a produção em água doce a principal, representando 62,8% do total da aquicultura (FAO, 2024). Estima-se que 83% dos peixes de água doce consumidos no mundo são provenientes da aquicultura, tornando-se mais representativa do que outros grupos de animais, como peixes diádromos (79%), peixes marinhos (5%), crustáceos (68%) e moluscos (75%) (FAO, 2024).

A aquicultura é uma fonte crucial de proteína para o consumo humano, contribuindo significativamente para a segurança alimentar global. Além disso, desempenha um papel vital na economia, gerando emprego e renda. Em 2022, estima-se que a aquicultura tenha contribuído com 22 milhões de postos de trabalho, impulsionando o desenvolvimento econômico em diversas regiões (FAO, 2024).

O Brasil possui grande potencialidade para o desenvolvimento da aquicultura, tanto dulcícola como marinha, pois abriga 12% da água doce do planeta e apresenta 3,6 milhões de km² de Zona Econômica Exclusiva, em ambiente marinho. Além disso, o país conta com fatores importantes para uma cadeia produtiva bem-sucedida, como território para o desenvolvimento das atividades, mão de obra qualificada, disponibilidade de insumos, mercado consumidor e expertise em atividades agropecuárias que colocam o Brasil como um dos principais produtores de alimento do mundo.

A produção aquícola industrial e profissional brasileira se desenvolveu a partir da década de 1970, sendo, portanto, uma atividade relativamente recente em comparação com outras atividades agropecuárias brasileiras. A principal cadeia produtiva do setor é a piscicultura, que, segundo dados mais recentes do IBGE, foi responsável pela produção de 617,3 mil toneladas de peixes em 2022. Em seguida, destacam-se a carcinicultura e a

malacocultura, cujas atividades resultaram na produção de 113,3 e 8,7 mil toneladas de pescado, respectivamente (IBGE, 2024).

A piscicultura brasileira baseia-se na produção de diferentes espécies de peixes de água doce, é praticada em todos os estados brasileiros e tem a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) como a mais cultivada. Em 2022, a tilapicultura foi responsável por 66% da produção piscícola do País (408 mil toneladas), o que representou aumento de 10% em relação ao ano anterior. Atualmente o Brasil se destaca como o quarto maior produtor de tilápia do mundo, ficando atrás da China, Indonésia e Egito (PEIXE BR 2024)

Entre as regiões que são mais representativas, destaca-se a região Sul (34,67% do total), nordeste (18,19%), Sudeste (17,72%), Norte (16,56%) e Centro-Oeste (12,83%). O Mato-Grosso do Sul se destaca pelo rápido crescimento na produção de peixes com destaque para a tilápia, qual ocupa a 5 entre os peixes criados no país, tendo uma produção de 32.000 toneladas no ano de 2023 (PEIXE BR, 2024, 2024). Nos primeiros meses de 2024 o abate de peixes teve um aumento significativo de 16,8 milhões de cabeças comparado ao mesmo período de 2023 onde foi de aproximadamente 10,1 milhões de cabeças. (FAMASSUL 2024)

A piscicultura pode ser desenvolvida em diferentes sistemas de produção, como tanques-rede, viveiros, sistemas de recirculação de água, bioflocos, entre outros. No entanto, tanto globalmente, como nacionalmente produção em viveiros escavados é predominante. No Brasil, essas unidades de produção correspondem a 84,6% dos locais de cultivo de peixes, sendo em sua grande maioria, realizada em pequenas propriedades, de até 5ha de lâmina de água (99,1%) (PEIXE BR, 2020).

2.2 Viveiros escavados e solos na piscicultura

Os viveiros são caracterizados como estruturas de terra que delimitam um espaço no qual a água utilizada na produção irá ficar acondicionada por um certo período (TIDWELL, 2012). No ano de 2022, o principal destino dos recursos obtidos por meio de financiamentos bancários foi o investimento na construção de viveiros, com aporte de mais de 30 milhões de reais (PEIXE BR 2023). A construção dos viveiros de forma adequada, que atenda às exigências da atividade é imprescindível para o sucesso do empreendimento, tendo em vista que representa o principal investimento inicial da produção.

Fatores como a localização, o dimensionamento, a forma, a profundidade e o tipo de solo influenciam diretamente o desempenho produtivo dos viveiros (BOYD, 1998).

Os solos apresentam distintas características, as quais irão influenciar na construção dos viveiros e na qualidade de água do ecossistema que será formado (MUSTAFA et al., 2018; SOUZA et al., 2021). Dentre os parâmetros do solo, devem ser verificados a textura, pH, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica (BOYD, 1995) (Tabela 1). A textura está relacionada com o percentual de areia, silte e argila e irá influenciar na estabilidade dos taludes, na moldagem do viveiro durante a construção e posteriormente, na infiltração, a qual é a principal responsável pela perda de água do sistema (ITUASSÚ & SPERA, 2018).

TABELA 1. Propriedades do solo que influenciam no manejo em viveiros

Parâmetros	Efeitos em viveiros aquícolas
Textura	Erosão e cimentação, estabilidade dos taludes e infiltração.
pH e acidez	Disponibilidade de nutrientes, atividade microbiana, produtividade bentônica.
Matéria Orgânica	Instabilidade dos taludes, demanda de nutrientes de oxigênio, disponibilidade de nutrientes.
Concentração de N e relação C:N	Decomposição da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes.
Potencial redox	Produção de toxinas, solubilidade de mineiras.
Profundidade de sedimentos	Redução do volume do viveiro, colonização de organismos bentônicos.
Concentração de nutrientes	Disponibilidade de nutrientes e produtividade.

Fonte: BOYD (1995).

2.3 Parâmetros físicos do solo

Parâmetros físicos englobam diversas características como a textura, estrutura, permeabilidade e a capacidade de retenção de água. Esses parâmetros determinam a adequação do solo para a construção de viveiros.

- Textura do solo: Refere-se à proporção de areia, silte e argila presentes no solo. Solos que possuem uma maior fração de argila são os mais preferidos para viveiros, pois eles apresentam baixa permeabilidade, reduzindo perdas de água por infiltração (MENEZES et al., 2008). Já os solos arenosos, com alta permeabilidade, podem causar vazamentos e necessitam de barreiras adicionais ou revestimento.
- Permeabilidade: É a capacidade que o solo tem de permitir o fluxo de água. Viveiros escavados em solos de baixa permeabilidade, como os argilosos, retêm melhor a água, enquanto solos muito permeáveis exigem maior intervenção estrutural (SOUZA, 2021).
- Compactação e estabilidade: Um solo estável reduz o risco de erosão e assoreamento, o que é essencial para manter as condições dos viveiros e prevenir turbidez excessiva na água.

2.4 Parâmetros químicos do solo

Os parâmetros químicos, incluindo propriedades como pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e nutrientes disponíveis, exercem grande influência na qualidade da água e na produtividade de viveiros escavados.

- pH do solo: O pH inadequado (muito ácido ou alcalino) pode comprometer a qualidade da água, afetando a solubilidade de nutrientes e o equilíbrio biológico. O pH ideal para viveiros escavados está na faixa de 6,5 a 7,5. Em solos ácidos, a calagem é uma prática recomendada para o aumento do pH e a melhoria da fertilidade do solo (BOYD, 2020).
- Capacidade de Troca Catiônica (CTC): A CTC reflete a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes essenciais para o ecossistema aquático. Solos com alta CTC são mais eficientes na manutenção de fertilizantes, enquanto solos com baixa CTC podem exigir adubação frequente para a compensação de perdas (SOUZA et al., 2021).
- Matéria Orgânica e Nutrientes: Solos ricos em matéria orgânica favorecem a produtividade primária em viveiros escavados, pois contribuem para a disponibilidade de carbono e nitrogênio. Contudo, o excesso de matéria orgânica pode levar à eutrofização dos viveiros, exigindo um monitoramento constante.

2.5 Qualidade de água na piscicultura

Na piscicultura, o ambiente aquático estável e de alta qualidade garante o desenvolvimento e a saúde dos peixes. Entre os parâmetros mais críticos para se ter uma

atividade de sucesso estão o pH, a alcalinidade e a dureza da água, pois esses fatores influenciam diretamente o metabolismo dos peixes, a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de compostos químicos no ambiente (BOYD et al., 2020). O pH, medida da concentração de íons hidrogênio (H^+) na água, determina o grau de acidez do meio e varia de 0 a 14, sendo 7 considerado neutro (BOYD, 2013).

O pH tem importante papel, uma vez que, influencia o pH intracelular, na atividade de enzimas biológicas e dependendo de seu valor, pode propiciar a formação de compostos nocivos no meio, como amônia tóxica ($pH > 9,0$) e gás sulfídrico ($pH < 6,0$) (SÁ, 2023). O pH ideal para muitas espécies fica entre 6.0 a 8.5. A espécie mais criada no Brasil e no Mato Grosso do Sul a tilápia do Nilo, possui sua faixa ideal entre 6,5 a 8,5 (Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade - Parte I | Revista Panorama da Aquicultura) Alcalinidade da água é a capacidade da água de neutralizar ácidos. é composta basicamente por íons carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e, em menor extensão, por hidróxidos (OH^-), silicatos e fosfatos. Estes íons atuam como "tampões" químicos, resistindo a mudanças significativas no pH quando ácidos são adicionados à água. A concentração de alcalinidade é geralmente expressa em mg/L de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) (BOYD, 1998).

A alcalinidade é fundamental para estabilizar o pH. Nos meios aquáticos que possuem baixa alcalinidade, o ambiente tem menor capacidade tampão, ou seja, terá maior probabilidade de apresentar flutuações do pH ao longo de 24 horas. A flutuação do pH no meio aquático ocorre em devido principalmente do balanço entre respiração e fotossíntese e, conseqüentemente, consumo e disponibilização do dióxido de carbono ao ambiente (BOYD, 2020). Este autor afirma que a intensidade de sua variação nictemeral é determinada pela capacidade tampão do meio, a qual é regulada pela alcalinidade e dureza, os quais devem ser mantidos acima de 50 mg/L^{-1} na piscicultura de água doce.

A alcalinidade é, portanto, um componente essencial para um manejo sustentável da qualidade da água, pois protege contra variações de pH que poderiam prejudicar os organismos cultivados (WEDEMEYER, 1996; BOYD, 2020).

A dureza da água é determinada pela presença de cátions divalentes dissolvidos no meio aquático (principalmente cálcio e magnésio). Estes minerais são essenciais para uma variedade de funções biológicas nos peixes, incluindo o desenvolvimento ósseo e a osmorregulação, o equilíbrio entre sal e água dentro do organismo (BOYD, 2020). Uma dureza suficiente contribui para um ambiente mais estável e saudável, enquanto a água demasiado

“macia” (baixa dureza) pode limitar o desenvolvimento dos peixes e prejudicar processos fisiológicos importantes.

A dureza poder ser classificada em quatro diferentes tipos são eles:

-Água mole: $< 60 \text{ mg/L}^{-1} \text{ CaCO}_3$

-Água semidura: $61\text{-}120 \text{ mg/L}^{-1} \text{ CaCO}_3$

-Água dura: $121\text{-}180 \text{ mg/L}^{-1} \text{ CaCO}_3$

-Água muito dura: $> 180 \text{ mg/L}^{-1} \text{ CaCO}_3$

A relação entre dureza e alcalinidade também é significativa. Em águas naturais, esses parâmetros muitas vezes coexistem em proporções similares, já que ambos refletem a quantidade de íons minerais presentes. Em sistemas de piscicultura, níveis adequados de dureza (geralmente acima de 50 mg/L^{-1} de CaCO_3) são recomendados para manter a saúde e o bem-estar dos peixes, assegurando que os minerais essenciais estejam disponíveis no ambiente aquático (LICHTKOPPLER & BOYD, 1979).

Em sistemas intensivos de piscicultura, são necessários o monitoramento e a correção frequente do pH, alcalinidade e dureza, que pode ser realizada através da adição de produtos calcários como calcário, cal hidratada ou cal virgem.

2.6 Materiais calcários na piscicultura

A calagem é uma prática comum e importante nos sistemas de aquicultura, especialmente em tanques escavados, onde a qualidade da água e do solo precisa ser controlada para garantir um ambiente saudável para os peixes e outras formas de vida aquática. Em sistemas intensivos e semi-intensivos, o aumento da densidade das culturas e a acumulação de matéria orgânica requerem uma regulação cuidadosa dos parâmetros de qualidade da água, tais como pH, alcalinidade e dureza. Os produtos calcários ajudam a corrigir a acidez do solo e da água, proporcionando um ambiente estável e adequado ao desenvolvimento da vida aquática (BOYD & TUCKER, 1998; LICHTKOPPLER & BOYD, 1979).

Existe alguns tipos de materiais calcários para aplicação na aquicultura, sendo eles:

-Calcário Agrícola (CaCO_3): Sendo o mais utilizado na aquicultura para ajustar a alcalinidade e dureza de forma segura, proporcionando um aumento gradual no pH da água. Ele é preferido em ambientes onde se deseja uma ação lenta e prolongada.

-Cal Hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): Aplicada em situações em que se busca um aumento rápido de pH e alcalinidade. No entanto, é necessário cuidado na dosagem para evitar o aumento significativo do pH para que os organismos cultivados não sofram nenhum tipo de consequência.

-Cal Virgem (CaO): Usada principalmente para desinfecção do solo antes do preenchimento dos viveiros com água. Ela elimina agentes patogênicos e reduz a presença de parasitas e bactérias prejudiciais. Essa aplicação deve ser feita com antecedência, já que o contato direto da cal virgem com os peixes pode ser tóxico (BOYD & TUCKER, 1998).

A qualidade do calcário depende de diversos fatores, como Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), o qual mede a capacidade do calcário de neutralizar a acidez, considerando sua composição química e granulometria. Calcários com maior PRNT são mais eficientes na correção do pH, permitindo efeitos mais rápidos e duradouros (BOYD, 1995). A composição química, referente a concentração de carbonato de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3) determina o potencial de alcalinidade e dureza que será adicionado ao ambiente aquático (BOYD & TUCKER, 1998). Além disso, a granulometria também tem influência em sua ação, sendo que calcários mais finos têm maior superfície de contato, dissolvem-se mais rapidamente e proporcionam resultados mais rápidos na correção da acidez.

Na aquicultura, a dosagem de calcário pode ser realizada com base em diferentes parâmetros, como alcalinidade da água e pH do solo e sedimento:

- Alcalinidade da Água: É o método mais comum, baseando-se em níveis ideais de alcalinidade (50-100 mg/L^{-1} de CaCO_3) para sistemas de aquicultura. A dosagem é definida considerando os níveis iniciais de alcalinidade da água e a quantidade necessária para atingir os níveis desejados (BOYD, 2020).

- pH do Solo e Sedimento: Avalia-se o pH do sedimento, ajustando o calcário para neutralizar a acidez antes do início do ciclo produtivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solo e local experimental

O estudo foi realizado no Laboratório de Produção Aquícola da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. O período experimental foi de 21 dias.

O Solo coletado para o experimento estava localizado abaixo de pés de manga na onde se encontrado no estado seco. Para a coleta, primeiramente foi realizada uma limpeza da parte superior do solo, seguido da coleta de material a 30cm de profundidade, posteriormente o solo foi passado em uma peneira de malha de 2mm

No solo amostrado foi realizada à análise química para determinação do (pH, Matéria orgânica, saturação de bases, Al, H+AL e cálculo da saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação por bases), Foi realizada a analise granulométrica do solo para determinação de areia, silte e argila conforme descrito por Teixeira et al. (2017). Foi utilizado solo com saturação por bases menor que 80% (Tabela 2).

TABELA 2. Parâmetros químicos, físicos e matéria orgânica inicial do solo utilizado no estudo.

Parâmetros físicos	Valores
Areia (g kg ⁻¹)	109,00
Silte (g kg ⁻¹)	179,00
Argila (g kg ⁻¹)	712,00
Parâmetros químicos	
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,32
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,49
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,70
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,83
H + Al (cmolc dm ⁻³)	11,61
Soma das bases trocáveis (SB) (cmolc dm ⁻³)	2,51
Saturação por bases (V%)	17,78
Saturação por alumínio (m%)	42,17
CTC efetiva (t) (cmolc dm ⁻³)	4,34
CTC potencial (T) (cmolc dm ⁻³)	14,12
pH	4,0
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	36,48
Parâmetros orgânicos	
Carbono orgânico (g dm ⁻³)	21,16

3.2 Design experimental

Foram utilizadas 12 unidades experimentais, com dimensões de 44,0 x 27,0 x 35,0 cm (comprimento x largura x altura). Foi acondicionada uma base de 5 cm de solo e, posteriormente, adicionada água até atingir o volume útil de 21L. Todas as unidades experimentais receberam água da mesma fonte (Tabela 3)

TABELA 3. Parâmetros iniciais da qualidade de água utilizada no estudo.

Parâmetros	Água inicial
pH	6,92
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	118,2
Alcalinidade (mg L^{-1})	26,00
Dureza (mg L^{-1})	19,00

O estudo teve 3 tratamentos, com 3 repetições cada. Os tratamentos consistiram na avaliação de duas formas de definição de quantidade de calcário em um tipo de solo, utilizando água com média alcalinidade:

1. Dose de calcário, baseada nas características da água (C+CAIc);
2. Dose de calcário, baseada na saturação de bases do solo. (C+CV%);
3. Apenas água e solo, sem a adição de calcário (A+S).

Nos tratamentos em que a definição da quantidade de calcário foi com base na alcalinidade da água, foi utilizada a dosagem recomendada pelo Senar (2019), para águas de alcalinidade entre 20-30 mg L^{-1} , sendo de 100g m^{-2} . Nos tratamentos em que a dosagem de calcário foi realizada com base na saturação por bases, foi utilizada a seguinte fórmula

$$\text{NC} = \text{CTC}(\text{V2}-\text{V1})$$

$$\text{NC} = \frac{\text{CTC} (\text{V2}-\text{V1})}{\text{PRNT}}$$

NC = necessidade de calagem – t/ha de CaCO_3

CTC = capacidade de troca de cátions do solo

V1 = saturação por bases do solo inicial

V2 = valor a ser atingido pela calagem

PRNT = Poder relativo de neutralização total do calcário

Foi realizado o cálculo para se atingir o valor de 80% na saturação por bases, conforme recomendação para aquicultura (BOYD, 1974; SILAPAJARN et al., 2005). Dessa forma, foram adicionados 9,0g e 96,0g de calcário por unidade experimental do tratamento de adição de calcário com base na água e na saturação de bases do solo, respectivamente. Em todos os tratamentos, a aplicação do calcário foi realizada uma única vez, no primeiro dia do estudo. Para isso, a quantidade determinada foi lançada na água da unidade experimental.

3.3 Análises de água e solo

Semanalmente, foram verificados o pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), Alcalinidade (mg L^{-1}) e Dureza (mg L^{-1}) da água. O pH e a condutividade elétrica foram verificados com o auxílio do multi-parâmetro AKSO SX836. Além disso, foram avaliadas a alcalinidade (mg L^{-1}) e dureza da água (mg L^{-1}). A Alcalinidade foi avaliada pelo método de titulação utilizando o indicador fenolftaleína e a dureza, pelo método de titulação em EDTA.

Ao final do período experimental, amostras de solo das unidades foram destinadas a análise de pH, concentração de cátions (cmolc dm^{-3}), capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva (t) e potencial (T) (cmolc dm^{-3}), saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%) e teor a de matéria orgânica (g dm^{-3})

3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando os dados coletados ao término 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 Turkey, com um nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo, foram observadas alterações significativas nos parâmetros químicos da água, como pH, condutividade elétrica, alcalinidade e dureza, em resposta aos diferentes tratamentos aplicados (Figura 1). A dureza da água foi o parâmetro que foi mais influenciado pela interação solo-água, sendo que pós 21 dias de estudo, foi verificado o valor 0,00, independente da inclusão e método de dosagem do calcário. No tratamento em que foi avaliado somente solo e água, a diminuição da dureza ocorreu na primeira semana de estudo, diferindo de quando foi adicionado calcário, em que a redução desse parâmetro ocorreu na segunda semana.

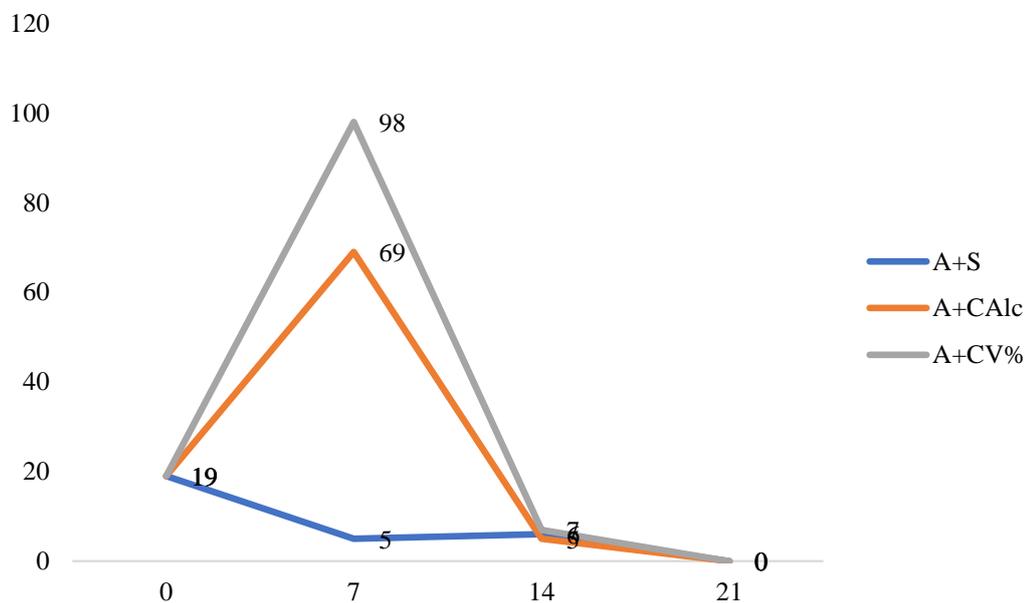


FIGURA 1. Oscilação da dureza da água em função dos tratamentos ao longo do período experimental.

Para alcalinidade e pH, o tratamento somente como água e solo (A+S), ou seja, na ausência de calcário apresentou os menores valores durante o período experimental. As maiores médias foram observadas para dureza da água quando foi adicionado calcário pelo método da saturação por bases (A+CV%) (Figura 2A e 2B). No entanto, independente da dosagem de calcário, o valor de pH manteve-se acima de 6,6 e alcalinidade acima de 57 mg L^{-1} .

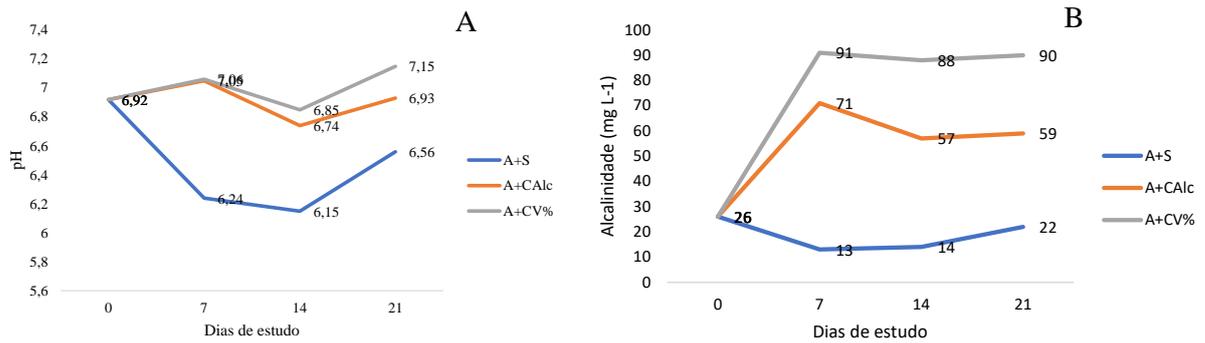


FIGURA 2. Oscilação do pH e alcalinidade em função dos tratamentos ao longo do período experimental.

As diferenças nos parâmetros de qualidade de água demonstraram que ocorre interação entre solo-água e que essa interação influencia principalmente no pH, alcalinidade e dureza. Após 21 dias de estudo, a qualidade da água diferiu quando esteve em contato somente com o solo e quando foi incluído o calcário (Tabela 4). A água em contato somente com o solo apresentou os menores valores de pH, condutividade elétrica e alcalinidade ($p < 0,05$). Em relação aos métodos de dosagem de calcário, foi verificado diferença significativa ($p < 0,05$) para condutividade elétrica e alcalinidade, sendo que ao adicionar calcário na quantidade baseada pela saturação de bases do solo esses parâmetros resultaram em valores de $85,76 \pm 4,66$ e $87,33 \pm 6,43$, respectivamente. Para o outro método de dosagem de calcário, esses dois parâmetros permaneceram na faixa de 60 mg L^{-1} .

TABELA 4. Parâmetros químicos da água após 21 dias de contato com solo contendo alumínio, com e sem inclusão de calcário.

Parâmetros	Tratamentos		
	A+S	A+CV%	A+CALc
pH	$6,58 \pm 0,11b$	$7,11 \pm 0,08a$	$6,94 \pm 0,04a$
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	$17,48 \pm 1,16c$	$85,76 \pm 4,66a$	$60,96 \pm 4,93b$
Alcalinidade (mg L^{-1})	$21,66 \pm 3,51c$	$87,33 \pm 6,43a$	$60,66 \pm 6,66b$
Dureza (mg L^{-1})*	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$

Ao final do estudo, foi verificado diferença estatística quanto ao pH, concentração de cátions e capacidade de troca catiônica do solo (Tabela 5). O solo em contato com a água, sem adição de calcário, apresentou os menor pH, concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} , capacidade de troca catiônica efetiva e potencial ($p < 0,05$). Em contrapartida, apresentou os maiores valores para de K^+ , Al^{3+} e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($p < 0,05$). Quanto aos tratamentos com diferentes dosagens de calcário,

não foi observado diferença estatística para o pH e matéria orgânica.

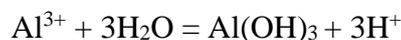
Houve aumento da saturação por bases dos solos de todos os tratamentos, sendo observado menor valor 28,34% quando não houve adição de calcário e o maior valor (82,12%), quando foi adicionado calcário visando o aumento desse parâmetro para 80% ($p < 0.05$). Em contrapartida, a saturação por alumínio foi zerada para as duas situações de inclusão de calcário e permaneceu em 14,97% quando não houve a calagem.

TABELA 5. Parâmetros do solo ao final do período experimental.

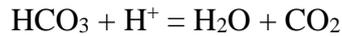
Parâmetros	Tratamentos		
	A+S	A+CAlc	A+CV%
pH	4,63±0,06b	6,16±0,21a	6,10±0,10a
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,32±0,02c	0,13±0,02a	0,21±0,02b
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,40±0,03c	4,67±0,16a	3,67±0,12b
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,93±0,09c	3,66±0,11a	3,12±0,24b
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,47±0,10	0,00±0,00	0,00±0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	6,74±0,35c	1,85±0,24a	2,58±0,27b
t (cmol _c dm ⁻³)	3,13±0,09c	8,47±0,27a	7,01±0,35b
T (cmol _c dm ⁻³)	9,40±0,32c	10,32±0,50a	9,59±0,15b
V (%)	28,34±1,53	82,12±1,46	73,03±2,94
m (%)*	14,97±3,12	0,00±0,00	0,00±0,00
MO (g dm ⁻³)	28,13±0,48	30,52±4,97	25,64±1,14

t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V: Saturação por bases; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica.

Neste estudo foi avaliado a influência do solo contendo 42% de saturação por alumínio na qualidade de água, com e sem inclusão e calcário e foi possível verificar que a presença desse cátion afeta o pH, condutividade elétrica, alcalinidade e dureza da água. Os menores valores dos parâmetros de qualidade de água foram verificados quando não foi incluído o calcário e isso ocorre porque o Al³⁺ se desloca dos coloides do solo para o meio aquático, onde haverá a formação de hidróxido de alumínio, o qual permanecerá precipitado no sedimento (GENSEMER & PLAYLE, 1999). Para cada cátion de Al³⁺ é gerado 3 íons hidrogênio, os quais contribuem para a diminuição do pH do meio (BOYD, 2020):



A acidez provocada pelo hidrogênio é neutralizada pela alcalinidade, representada pelo bicarbonato (BOYD, 2020):



Ao realizar a calagem, há a incorporação de carbonatos de cálcio (CaCO_3) e carbonatos de magnésio no meio (MgCO_3), que resultam na formação de bicarbonatos ($\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ e $\text{MgCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$), os quais irão atuar no processo de manutenção do pH do ecossistema aquático (SÁ & BOYD, 2017; SÁ et al., 2019). Dessa forma, a alcalinidade é fundamental para manter a capacidade tampão na coluna da água, pois atua na absorção de íons de hidrogênio (SARASWATHY et al., 2018). O controle do pH é essencial na aquicultura, pois ele influencia diretamente componentes abióticos, como por exemplo, na toxicidade da amônia, além de fatores bióticos, como em alterações no tecido branquial, que irão diferir em situações de água mais ácida ou alcalina (BOYD, 2020).

Os resultados encontrados corroboraram com o que foi apresentado por Li et al. (2013), em que avaliaram diferentes tipos de solo e água e verificaram que solos com baixa saturação por bases resultaram em menor alcalinidade, pH e concentração e cátions na água. Segundo esses autores, a diminuição da alcalinidade se deve ao consumo de bicarbonatos para neutralizar a acidez do solo. Han et al. (2014) ressaltam a necessidade de primeiramente neutralizar a acidez do fundo do viveiro, pois os componentes do material calcário seriam gastos rapidamente nesse processo e não seriam ficariam disponíveis para outras reações em que são necessários.

O pH da água é um dos parâmetros mais influenciados pela adição de calcário. Nos tratamentos em que o calcário foi aplicado, o pH foi mantido em níveis neutros, evitando a acidificação da água, que pode prejudicar o desenvolvimento dos organismos aquáticos. A acidificação é uma preocupação comum em sistemas de aquicultura, especialmente em solos ácidos, onde o pH da água tende a diminuir ao longo do tempo. A capacidade do calcário de neutralizar a acidez e manter o pH em uma faixa neutra é crucial para a estabilidade do ambiente aquático e a saúde dos organismos cultivados (DUAN et al., 2020).

Além disso, a alcalinidade da água, que está diretamente relacionada à sua capacidade tamponante, foi significativamente maior nos tratamentos com adição de calcário. A alcalinidade alta é desejável em sistemas de aquicultura porque ajuda a amortecer as variações de pH, prevenindo flutuações bruscas que poderiam causar estresse aos peixes e outros organismos aquáticos. No tratamento sem calcário, a alcalinidade foi muito baixa, indicando um ambiente menos tamponado e, portanto, mais susceptível a essas flutuações (MUSTAFA et al., 2018). Isso reflete a importância da calagem não apenas para neutralizar a acidez, mas também para aumentar a capacidade tamponante da água.

A dureza da água, outro parâmetro crucial, também foi beneficiada pela adição de

calcário, independentemente do método utilizado para calcular a dose de calcário. A dureza refere-se à concentração de íons de cálcio e magnésio na água, que são essenciais para diversos processos fisiológicos dos organismos aquáticos, incluindo a ossificação e o crescimento dos peixes.

Além disso, a importância da calagem para o manejo da qualidade da água destaca a necessidade de um monitoramento contínuo desses parâmetros nos viveiros. A análise regular da qualidade da água pode ajudar a identificar a necessidade de ajustes na calagem, garantindo que os viveiros mantenham condições ideais para a produção de organismos aquáticos. Assim, a aplicação criteriosa de calcário, em conjunto com o monitoramento contínuo da qualidade da água, pode contribuir significativamente para a sustentabilidade e a produtividade dos sistemas de aquicultura.

5 CONCLUSÃO

Este estudo confirmou que a adição de calcário é uma prática eficaz para a manutenção da qualidade da água e do solo em sistemas de produção aquícola. Os tratamentos com calcário resultaram em melhorias significativas nos parâmetros químicos da água e do solo, proporcionando condições mais adequadas para a produção de organismos aquáticos.

O Al^{3+} presente no solo diminui o pH, condutividade elétrica, alcalinidade e dureza da água. Na presença de alumínio é necessário a realização de calagem para manutenção desses parâmetros em níveis adequados para produção aquícola de água doce e recomenda-se a realização desse processo antes do enchimento de viveiros aquícolas, visando o aumento da saturação do solo com Ca^{2+} e Mg^{2+} . No ecossistema composto por solo e água, em manejos rotineiros da aquicultura, a alcalinidade da água pode ser utilizada como referência na determinação da dose de calcário a ser utilizado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARUA, P.; GHANI, M. H. Comparative study of physico-chemical properties of soil according to the age of aquaculture pond of Bangladesh. Mesopot. **J. Mar. Science**, v. 27, n. 1, p. 29–38, 2012.

BOYD, C. E. **Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture**. Boston, MA: Springer US, 1995.

BOYD, C. E. **Water quality: an introduction**. 3. ed. Cham: Springer Nature Switzerland, 2020.

BOYD. **Manejo do ciclo do pH para manter a saúde animal**. p. 28 a 30, 2013.

BOYD, Claude E. and Craig S. Tucker. “Water quality and pond soil analyses for aquaculture.”1992.

DUAN, Y.; LI, X.; ZHANG, L.; et al. Detecting spatiotemporal changes of large-scale aquaculture ponds regions over 1988–2018 in Jiangsu Province, China using Google Earth Engine. **Ocean and Coastal Management**, v. 188, n. February, 2020.

FAO. **Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2021**. [s.l.] FAO, 2024.

FAMASUL. **Federação da Agricultura e Pecuária Mato Grosso do Sul**. 2024. Disponível em <MS é o 5º maior produtor de tilápia do país | Agropecuária MS | Sistema Famasul>

IBGE. **Pesquisa da pecuária Municipal.**, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>>. Acesso em: 30 ago. 2024>.

GENSEMER, R. W.; PLAYLE, R. C. The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 29, n. 4, p. 315–450, out. 1999.

HAN, Y.; BOYD, C. E.; VIRIYATUM, R. A bicarbonate titration method for lime requirement to neutralize exchangeable acidity of pond bottom soils. **Aquaculture**, v. 434, p. 282–287, 2014.

ITUASSÚ, D. R.; SPERA, S. T. Abordagem prática do dimensionamento da demanda hídrica em projetos de piscicultura. **Circular Técnica**, v. 2, p. 1–17, 2018.

LI, L. et al. Equilibrium Concentrations of Major Cations and Total Alkalinity in Laboratory Soil-Water Systems. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 25, n. 1, p. 50–65, 2013.

- LICHTKOPPLER, F.; E. BOYD, C. **Water Quality in pond fish culture**. 1979.
- MUSTAFA KAMAL, A. H.; HISHAMUDDIN, O.; BOYD, C. E. Physical and chemical characteristics of soil from tiger shrimp aquaculture ponds at Malacca, Malaysia. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 30, n. 1, p. 47–62, 2018.
- PEIXEBR. **Anuário 2023 PeixeBr da Piscicultura**. [s.l.] Associação Brasileira de Piscicultura, 2023.
- PEIXEBR. **Anuário 2020 PeixeBr da Piscicultura**. [s.l.] Associação Brasileira de Piscicultura, 2020.
- SENAR. **Piscicultura: manejo e água**. Brasília: Senar, 2019.
- SÁ, M. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. 2 ed ed. São Paulo: Blucher, 2023.
- SARASWATHY, R. et al. Changes in soil and water quality at sediment–water interface of *Penaeus vannamei* culture pond at varying salinities. **Aquaculture Research**, p. are.13984, 6 fev. 2019.
- SILAPAJARN, K.; SILAPAJARN, O.; BOYD, C. E. Evaluation of Lime Requirement Procedures and Liming Materials for Aquaculture Ponds in Thailand. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 17, n. 3, p. 77–88, 2005.
- SOUZA, R. A. L. DE et al. Caracterização de sedimentos em viveiros de piscicultura na Amazônia Oriental, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e41710111815, 21 jan. 2021.
- TEIXEIRA, P. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- TIDWELL, J. H. **Aquaculture production systems**. 1. ed. [s.l.] Blackwell Publishing, 2012.
- Wedemeyer, G. A. (1996). *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*.