

Aspectos limnológicos de uma aquaponia  
utilizando leitos cultivados semissecos  
sob diferentes cargas de nutrientes



2 FOME ZERO  
E AGRICULTURA  
SUSTENTÁVEL





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Amapá  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
108**

Aspectos limnológicos de uma aquaponia  
utilizando leitos cultivados semissecos  
sob diferentes cargas de nutrientes

*Jô de Farias Lima  
Argemiro Midonês Bastos*

*Embrapa Amapá  
Macapá, AP  
2020*

**Embrapa Amapá**

Endereço: Rodovia Juscelino Kubitschek, nº 2.600,  
Km 05, CEP 68903-419  
Caixa Postal 10, CEP 68906-970, Macapá, AP  
Fone: (96) 3203-0201  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações da  
Embrapa Amapá

Presidente  
*Jamile da Costa Araújo*

Secretário-Executivo  
*Daniel Marcos de Freitas Araújo*

Membros

*Adelina do Socorro Serrão Belém, Elisabete da Silva Ramos, Gilberto Ken-Iti Yokomizo, Jô de Farias Lima, Leandro Fernandes Damasceno, Ricardo Adalme da Silva, Sônia Maria Schaefer Jordão e Wardsson Lustrino Borges*

Supervisão editorial e normalização bibliográfica  
*Adelina do Socorro Serrão Belém*

Revisão Textual  
*Elisabete da Silva Ramos*

Editoração eletrônica  
*Fábio Sian Martins*

Cadastro Geral de Publicações da Embrapa  
(CGPE)  
*Ricardo Santos Costa*

Foto da capa  
*Jô de Farias Lima*

**1<sup>a</sup> edição**  
Publicação digitalizada (2020)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Embrapa Amapá

---

Lima, Jô de Farias.

Aspectos limnológicos de uma aquaponia utilizando leitos cultivados semisecos sob diferentes cargas de nutrientes / Jô de Farias Lima, Argemiro Midonêis Bastos. - Macapá: Embrapa Amapá, 2020.

PDF (24 p.): il. -- (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amapá;  
ISSN 1517-4867, 108).

1. Tambaqui. 2. *Colossoma macropomum*. 3. Aquicultura. 4. Produção pesqueira. 5. Hortalícia folhosa. 6. Produção vegetal. 7. Sistema misto. I. Lima, Jô de Farias. II. Bastos, Argemiro Midonêis. III. Série.

CDD 639.3

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	8
Sistema, cultivo e condições hidráulicas.....	8
Análise Estatística .....	10
Resultados.....	10
Eficiência do sistema de tratamento de água .....	10
Discussão .....	16
Conclusão.....	19
Agradecimentos .....	20
Referências .....	20



# Aspectos limnológicos de uma aquaponia utilizando leitos cultivados semissecos sob diferentes cargas de nutrientes

Jô de Farias Lima<sup>1</sup>

Argemiro Midonês Bastos<sup>2</sup>

**Resumo** – O estudo avaliou a eficiência de um sistema de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos no tratamento de efluentes de recria de tambaqui *Colossoma macropomum* em três densidades de estocagem: 40, 80 e 120 alevinos m<sup>-3</sup>. O cultivo durou 110 dias. Os parâmetros de qualidade de água registrados diariamente foram: sólidos totais, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, temperatura e condutividade elétrica. E amônia, nitrito, nitrato, potássio, fosfato, magnésio e cálcio foram registrados duas vezes por semana. Os resultados demonstraram que o sistema de aquaponia utilizado com alface *Lactuca sativa* foi satisfatoriamente eficiente no tratamento da água tornando-a apropriada ao cultivo de *C. macropomum* nas densidades testadas. O volume de nutrientes fornecidos e, consequentemente, mineralizados e transformados no sistema não foi suficiente para a produção adequada de alface, havendo necessidade de suplementação, especialmente com potássio, fosfato, cálcio, magnésio e carbonatos.

**Termos para indexação:** *Colossoma macropomum*, alface, recirculação de água, sistema integrado.

---

<sup>1</sup> Biólogo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Amapá, Macapá, AP

<sup>2</sup> Licenciado em Física, doutor em Biodiversidade e Biotecnologia, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Macapá, AP

## Limnological aspects of an aquaponics using semi-dry cultivated beds under different nutrient loads

**Abstract** – The study evaluated the recirculation system efficiency using semi-dry constructed wetlands to treat effluents from *Colossoma macropomum* in three storage densities: 40, 80 and 120 fingerlings by  $m^3$ . Cultivation lasted 110 days. The water quality parameters daily sampled were: Total Dissolved Solids, Turbidity, Dissolved Oxygen, pH, Temperature, Electrical Conductivity, while Ammonia, Nitrite, Nitrate, Potassium, Phosphate, Magnesium and Calcium were twice per week recorded. The results showed that the aquaponic recirculation system using semi-dry constructed wetlands with lettuce *Lactuca sativa* was satisfactorily efficient in the water treatment making it suitable for the *C. macropomum* cultivation in the tested densities. The organic nutrients volume mineralized and processed in the system were not enough for the adequate lettuce production, suggesting that it is necessary a nutrient supplementation with potassium, phosphate, calcium, magnesium and carbonates.

**Index terms:** *Colossoma macropomum*, lettuce, water recirculation, integrated system.

## Introdução

---

Sistemas intensivos de aquacultura, como a aquicultura de recirculação, têm sido desenvolvidos para atender à crescente demanda por alimentos em todo o mundo, contudo tais sistemas produzem grandes quantidades de águas residuais contendo concentrações elevadas de sólidos suspensos, nitrogênio total e fósforo total (Turcios; Papenbrock, 2014). Preocupados com essa consequência, diversos cientistas têm buscado desenvolver sistemas de aquacultura que maximizem os benefícios e minimizem os impactos negativos em ambientes naturais e sociais, tendo como base conceitos modernos de sustentabilidade, incluindo sistemas integrados (Altieri, 2002).

Estudos recentes têm demonstrado viabilidade econômica e técnica da junção da aquicultura de recirculação com a produção de hortaliças, formando um sistema misto denominado de aquaponia. Esse sistema integrado, além de poder ser desenvolvido em escala familiar (Carneiro et al., 2016) ou comercial (Emerenciano et al., 2015; Love et al., 2015), possui baixo consumo de água e alto aproveitamento de resíduos orgânicos para produção vegetal, reduzindo os custos de produção (Rakocy, 2012; Love et al., 2015).

A escolha do tipo de tratamento de água é uma condição primordial ao sucesso do sistema de aquaponia, pois sistemas pouco eficientes além de elevar os custos de manutenção de qualidade de água, podem provocar perdas consideráveis e inviabilizar o sistema. O tratamento de efluentes na aquaponia necessita de infraestrutura que inclui o uso de decantadores, filtros mecânicos, mineralizadores, filtros biológicos e oxigenadores. De acordo com o tipo do meio utilizado para produção vegetal, o produtor pode escolher entre leitos cultivados semissecos (LCSS) baseados em mídia, leito em jangada flutuante e técnica de película de nutriente (NFT). Estudos têm demonstrado que a aquaponia baseada em leito cultivado semisseco é a mais eficiente e popular (Love et al., 2015).

Na aquaponia baseada em LCSS, o sistema de tratamento de água além de minimizar o uso de decantadores, as mídias utilizadas como meio suporte à fixação das raízes das plantas são também um ótimo substrato ao desenvolvimento de microrganismos que degradarão a matéria orgânica e irão transformar/metabolizar os elementos nitrogenados e fosfatados na água. Ainda que a literatura brasileira sobre aquaponia seja incipiente, alguns es-

tudos têm demonstrado viabilidade técnica e econômica quanto à produção integrada de peixes e vegetais utilizando modelos compactos de aquaponia baseada em leitos semissacos (Silva et al., 2013; Carneiro et al., 2016).

Este trabalho apresenta informações técnicas sobre a eficiência de um sistema de recirculação utilizando LCSS no tratamento de diferentes cargas de efluentes gerados na recria de *Colossoma macropomum* em três densidades de estocagem. Os resultados contribuem com o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2, pactuado na Conferência das Nações Unidas sobre desenvolvimento sustentável, ocorrido no Rio de Janeiro em 2012, que busca acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, demonstrando a eficiência de um sistema produtivo de baixo custo, com menor uso de água e de área, permitindo a produção integrada de peixes e vegetais em nível familiar, por meio de aproveitamento de efluentes.

## Material e Métodos

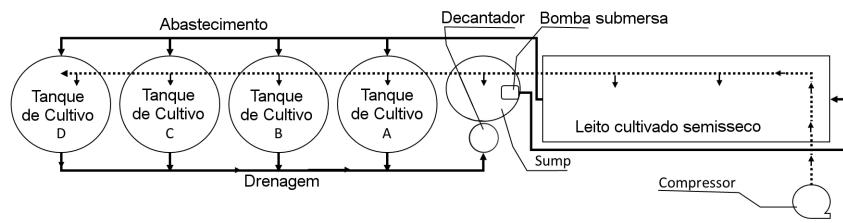
---

### Sistema, cultivo e condições hidráulicas

O experimento ocorreu em três unidades experimentais aquapônicas idênticas alocadas no Laboratório de Aquicultura e Pesca da Embrapa Amapá (Amapá, Brasil), postas em recirculação de água 15 dias antes do início do experimento. Cada unidade aquapônica foi constituída de quatro tanques para cultivo dos peixes ( $1\text{ m}^3/\text{tanque}$ ), um tanque de sedimentação ( $0,2\text{ m}^3$ ), um reservatório ou 'sump' ( $0,5\text{ m}^3$ ) e um leito cultivado semissaco (LCSS) ( $0,2\text{ m} \times 1,0\text{ m} \times 4,0\text{ m}$ ) com volume útil de água de  $0,8\text{ m}^3$ , sendo  $0,3\text{ m}^3$  ocupado pela água e  $0,5\text{ m}^3$  preenchido com brita 01, o qual foi utilizado como subsistema hidropônico, configurado em um sistema de recirculação como mostrado na Figura 1. O volume de água presente nos componentes decantador + sump + leito cultivado compreendeu cerca de 25% do sistema. O fluxo de água do sistema utilizou uma bomba submersível com vazão de  $4.000\text{ L/h}$ , acionada a cada 15 minutos por um período de 15 minutos, com auxílio de um temporizador e o retorno por gravidade. As águas residuais coletadas no sump eram bombeadas parte para os tanques de peixes e outra parte para o LCSS, onde permaneciam por cerca de 15 minutos. A água retida no LCSS

retornava ao sistema com a ajuda de um sifão de sino. Somente a água perdida por evaporação, transpiração e limpeza dos decantadores foi reposta. Os resíduos presentes no fundo dos tanques de peixes eram sifonados diariamente e os do fundo do decantador a cada cinco dias. Para compensar as perdas da nitrificação, o tamponamento do pH foi realizado a cada cinco dias pela adição de 50 g de cal hidratada, que além de controle de pH foi considerada uma fonte suplementar de cálcio e magnésio ao sistema. A oxigenação do sistema foi realizada utilizando-se um compressor radial com vazão de 3 m<sup>3</sup> de ar por minuto, conectado a mangueiras de aquário e pedras porosas.

Desenho: Jô de Farias Lima



**Figura 1.** Esquema geral de uma unidade aquapônica com leitos cultivados semissecos utilizada no tratamento de água no cultivo de *Colossoma macropomum* em diferentes densidades e na produção de alface.

A carga nutricional disponibilizada no sistema, baseou-se na alimentação fornecida a 960 alevinos de *C. macropomum* com massa inicial média de  $8,35 \pm 0,91$  g, que foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três tratamentos de densidade de estocagem (DE) e quatro réplicas: (D1) 40 alevinos m<sup>-3</sup>; (D2) 80 alevinos m<sup>-3</sup>; e (D3) 120 alevinos m<sup>-3</sup>. Na nutrição dos peixes utilizou-se ração comercial extrusada contendo 36,3% de proteína, 6,8% de lipídios, 4,6% de fibras, 10,6% de cinzas e 18,6 kJg<sup>-1</sup> de energia bruta. Os alevinos foram alimentados diariamente às 9h e 16h a uma taxa de 3% da biomassa ao dia, a qual foi ajustada a cada 7 dias para a biomassa estimada em cada tanque, a partir da média ponderada da massa de dez alevinos capturados aleatoriamente. Após 110 dias, o desempenho dos peixes foi avaliado com base na massa final média (g), consumo alimentar (kg), conversão alimentar (CA) (ração consumida x biomassa<sup>-1</sup>), taxa de sobrevivência (%) e produtividade de peixes (kg m<sup>-3</sup>).

Como parte do sistema de tratamento de água, 80 plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.), sendo 40 da cultivar de alface Americana Delícia (AD) e

40 de Crespa Roxa (CR) foram cultivadas nos LCSS. O plantio ocorreu 15 dias após a semeadura, conforme sugerido por Genuncio et al. (2012). Para manter os leitos sempre ocupados com plantas, foram efetuados dois cultivos consecutivos ao longo do experimento, sendo o primeiro entre 7 de abril e 12 de maio de 2016 e o segundo entre 13 de maio e 17 de julho de 2016.

A avaliação da eficiência do sistema de aquaponia utilizando LCSS no tratamento de água considerou amostras obtidas diariamente no período da manhã, aproximadamente uma hora após a alimentação. As amostras de água foram examinadas na determinação das concentrações de nitrogênio amoniacal total ou amônia total (AT. mg L<sup>-1</sup>), nitrogênio nitrito (NO<sub>2</sub> – N. Mg L<sup>-1</sup>), nitrogênio nitrato (NO<sub>3</sub> – N mg L<sup>-1</sup>), fósforo total (TP mg L<sup>-1</sup>), potássio (K<sub>2</sub>O mg L<sup>-1</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup> mg L<sup>-1</sup>) e cálcio (Ca<sup>2+</sup> mg L<sup>-1</sup>) utilizando um Fotômetro Multiparâmetro para Análise de Água. A temperatura (°C), potencial iônico de hidrogênio (pH), oxigênio dissolvido (OD mg L<sup>-1</sup>), condutividade elétrica (CE  $\mu$ S.cm<sup>-1</sup>), turbidez (NTU) e sólidos totais dissolvidos (TDS mgL<sup>-1</sup>) foram verificados por meio de uma sonda multiparâmetro medidor de qualidade de água.

Este estudo foi desenvolvido seguindo os princípios recomendados pelo Código Brasileiro de Experimentação Animal (Cobea) e com a autorização do Comitê de Ética em Uso de Animais da Embrapa Amapá (nº 008 - Ceua/CPAF-AP).

## Análise Estatística

Os dados de qualidade da água nas diferentes densidades de estocagem foram submetidos à análise de variância e testes de comparação de médias (Tukey, 5%), após testes de normalidade dos erros e homocedasticidade das variâncias (McDonald, 2014). PAST versão 3.14, o pacote de software de estatística paleontológica (Hammer et al., 2001), foi usado para as análises estatísticas e construção dos gráficos associados.

## Resultados

---

### Eficiência do sistema de tratamento de água

A Tabela 1 mostra os valores médios e desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água avaliados no estudo. A temperatura (°C) variou, porém

não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Os valores de pH, OD e TDS divergiram, sendo maiores nas densidades de 80 e 120 alevinos. Os parâmetros condutividade elétrica, nitrito, nitrato, potássio e magnésio foram estatisticamente menores na densidade de 40 alevinos do que na densidade de 120 alevinos. Porém, na densidade de 80 alevinos tais parâmetros apresentaram valores intermediários, não divergindo estatisticamente dos registrados na densidade de 40 e 120 alevinos. Os valores médios de turbidez, amônia total, fosfato, alcalinidade e cálcio diferiram estatisticamente entre todos os tratamentos (Tabela 1).

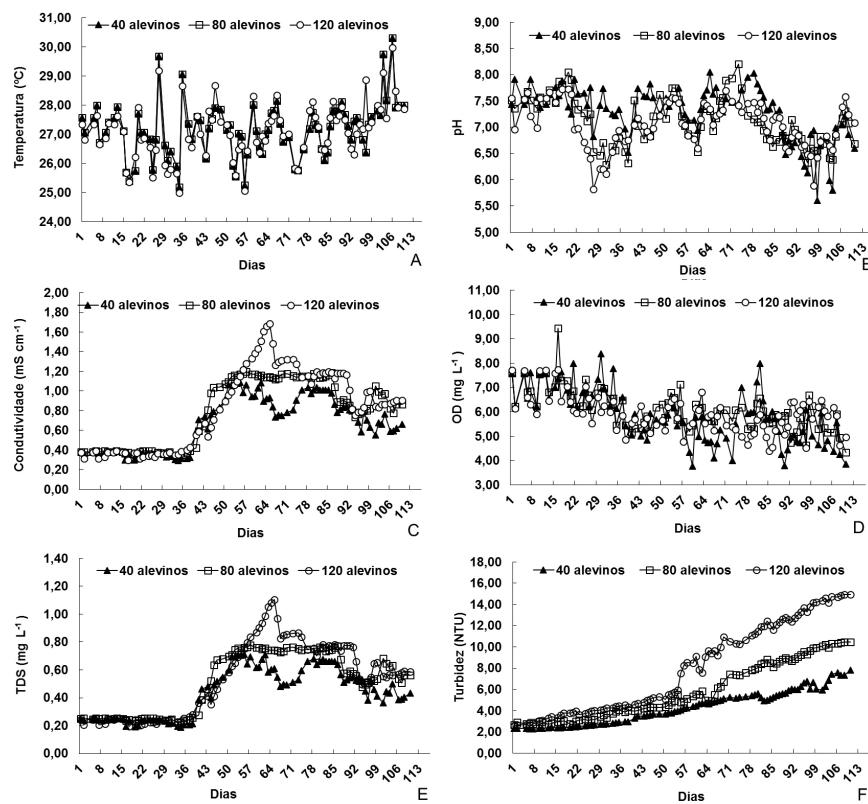
**Tabela 1.** Resultados dos parâmetros de qualidade de água registrados na recria de alevinos de tambaqui em diferentes densidades de estocagem em sistema aquapônico utilizando leitos cultivados semissecos.

Parâmetros	Densidades			F	P
	40 alevinos	80 alevinos	120 alevinos		
Temperatura (°C)	27,16 ± 0,93 <sup>a</sup>	27,12 ± 0,94 <sup>a</sup>	27,10 ± 0,94 <sup>a</sup>	0,0887	0,915
pH	7,48 ± 0,23 <sup>a</sup>	7,09 ± 0,26 <sup>b</sup>	7,04 ± 0,35 <sup>b</sup>	20,787	<0,001
CE (mScm <sup>-1</sup> )	0,694 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,809 ± 0,30 <sup>ab</sup>	0,848 ± 0,25 <sup>b</sup>	4,866	0,008
Turbidez (NTU)	4,35 ± 1,51 <sup>a</sup>	5,94 ± 1,46 <sup>b</sup>	8,24 ± 1,82 <sup>c</sup>	37,553	<0,001
OD (mgL <sup>-1</sup> )	6,82 ± 0,58 <sup>a</sup>	6,08 ± 0,55 <sup>b</sup>	5,91 ± 0,90 <sup>b</sup>	5,256	0,005
TDS (mgL <sup>-1</sup> )	0,51 ± 0,13 <sup>a</sup>	0,68 ± 0,14 <sup>b</sup>	0,73 ± 0,17 <sup>b</sup>	6,228	0,001
AT (mgL <sup>-1</sup> )	0,65 ± 0,41 <sup>a</sup>	1,11 ± 0,55 <sup>b</sup>	1,89 ± 0,74 <sup>c</sup>	22,901	<0,001
NO <sub>2</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	0,40 ± 0,26 <sup>a</sup>	0,58 ± 0,25 <sup>ab</sup>	0,74 ± 0,23 <sup>b</sup>	10,171	<0,001
NO <sub>3</sub> -N (mgL <sup>-1</sup> )	28,04 ± 14,11 <sup>a</sup>	42,30 ± 20,96 <sup>ab</sup>	50,80 ± 22,18 <sup>b</sup>	7,370	0,001
PO <sub>4</sub> -P (mgL <sup>-1</sup> )	6,57 ± 3,53 <sup>a</sup>	12,52 ± 3,63 <sup>b</sup>	15,87 ± 6,93 <sup>c</sup>	12,537	<0,001
K <sub>2</sub> O (mgL <sup>-1</sup> )	2,75 ± 2,09 <sup>a</sup>	4,10 ± 3,03 <sup>ab</sup>	5,97 ± 3,45 <sup>b</sup>	6,441	0,003
Alcalinidade (mgL <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	14,58 ± 5,34 <sup>a</sup>	22,19 ± 6,40 <sup>b</sup>	27,57 ± 7,38 <sup>c</sup>	21,629	<0,001
Mg <sup>2+</sup>	0,74 ± 0,22 <sup>a</sup>	0,93 ± 0,22 <sup>ab</sup>	1,16 ± 0,33 <sup>b</sup>	13,056	<0,001
Ca <sup>2+</sup>	0,42 ± 0,22 <sup>a</sup>	0,69 ± 0,21 <sup>b</sup>	1,01 ± 0,37 <sup>c</sup>	23,476	<0,001

Letras diferentes em sobreescrito indicam diferenças significativas (P < 0,05).

Detalhes da dinâmica da temperatura, pH, condutividade, TDS, oxigênio dissolvido e turbidez são apresentados na Figura 2. A temperatura da água alcançou mínimas de 25 °C e máximas de 30 °C (Figura 2A), acompanhando as oscilações diárias de temperatura do ambiente. O pH da água se manteve relativamente estável até o 20º dia de cultivo. Após, esse parâmetro apresentou tendências acidificantes que foram controladas com adição de cal hidratada. Na Figura 2B é possível acompanhar os períodos de baixa e elevação gradativa do pH, sendo um padrão em todos os tratamentos. Os valores de condutividade e TDS da água apresentaram valores relativamente baixos e estáveis até o 36º dia, depois aumentaram substancialmente até o 56º dia de cultivo, quando iniciaram uma tendência de queda em todos os tratamentos (Figuras 2C e 2E). Os valores OD e turbidez da água apresentaram comportamento antagônico ao longo do cultivo, em todos os tratamentos. Enquanto os valores de OD demonstraram redução, os valores de turbidez seguiram se elevando, em reflexo ao crescimento dos peixes e consequente disponibilização de nutrientes na água (Figuras 2D e 2F).

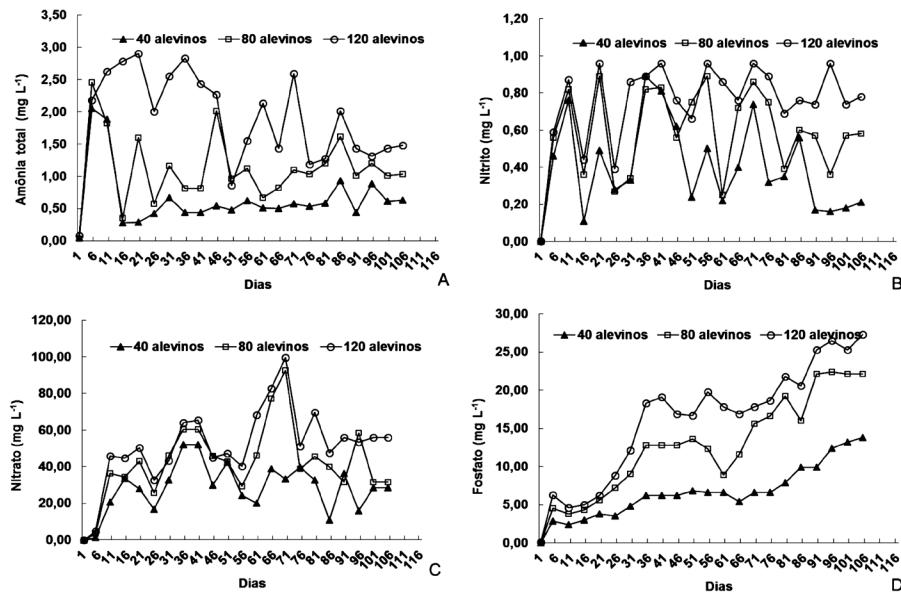
Detalhes do comportamento dos valores de amônia total, nitrito, nitrato e fosfato estão apresentados na Figura 3. Os valores de amônia total na água dos tratamentos com 40 e 80 alevinos apresentaram elevação até o sétimo dia de cultivo, seguida de queda. Já no tratamento com 120 alevinos esse parâmetro só apresentou redução por volta do 16º dia. Ao longo do cultivo é possível perceber uma tendência de redução nos valores de amônia em todos os tratamentos. Além disso, houve variação nas concentrações com o aumento da densidade (Figura 3A). Comportamento similar da água também é notado para o nitrito (Figura 3B). Embora apresente valores distintos entre cada tratamento, o nitrito apresentou padrões de oscilação bastante similares ao longo do cultivo. Já o nitrato só começou a ser detectado a partir do sexto dia de cultivo. A partir desse período é possível observar em todos os tratamentos uma clara elevação de concentração de nitrato até o 41º dia de cultivo, seguido de uma leve queda até o 56º dia. A partir desse período as concentrações de nitrato nos tratamentos com 80 e 120 alevinos tornam a se elevar até o 72º dia de cultivo e alcançam picos próximos a 100 mg L<sup>-1</sup>, mas no tratamento com 40 alevinos, seguem em oscilação estável entre 16 mg L<sup>-1</sup> e 30 mg L<sup>-1</sup>. Apesar de apresentarem diferenças na concentração, os valores de nitrato em todos os tratamentos seguem os mesmos padrões de oscilação (Figura 3C). Por outro lado, o parâmetro fosfato apresentou valores crescen-



**Figura 2.** Dinâmica dos valores de temperatura (A), pH (B), condutividade elétrica (C), total de sólidos dissolvidos (E), oxigênio dissolvido (D) e turbidez (F) registrados na recriação de alevinos de *Colossoma macropomum* em diferentes densidades de estocagem em sistema aquapônico utilizando leitos cultivados semissecos.

tes e claramente distintos entre os tratamentos ao longo de todo o cultivo, alcançando picos de  $13\text{ mg L}^{-1}$ ,  $22\text{ mg L}^{-1}$  e  $27\text{ mg L}^{-1}$  nos tratamentos com 40, 80 e 120 alevinos, respectivamente (Figura 3D).

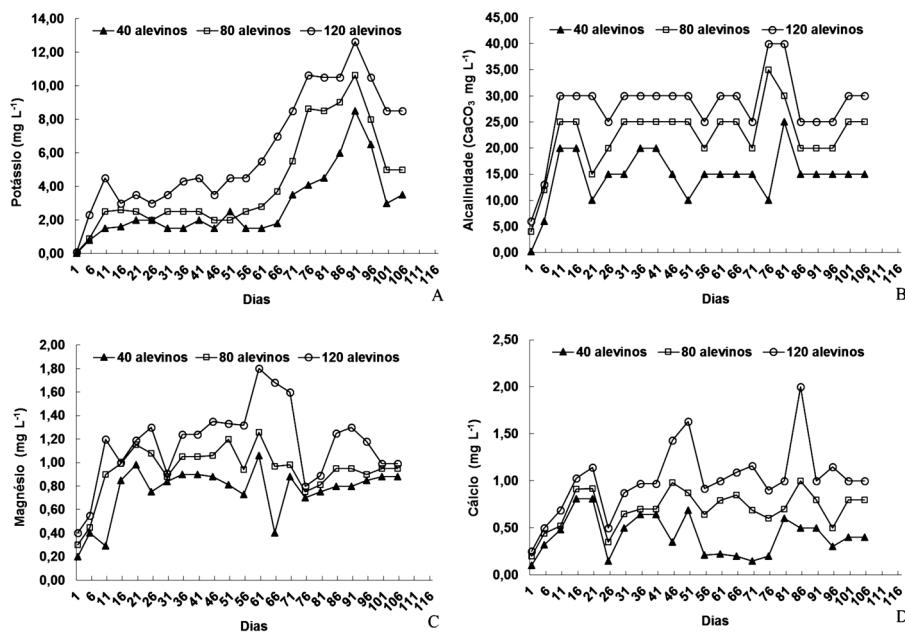
Na Figura 4 são apresentados os comportamentos dos valores de potássio, alcalinidade, magnésio e cálcio registrados no estudo. Similar ao observado para o fosfato, as concentrações de potássio se mantiveram distintas entre todos os tratamentos e um padrão de crescimento até o 91º dia de cultivo, quando iniciaram uma visível queda (Figura 4A). As concentrações



**Figura 3.** Dinâmica dos valores de amônia total (A), nitrito (B), nitrito (C) e fosfato (D) registrados na recriação de alevinos de *Colossoma macropomum* em diferentes densidades de estocagem em sistema aquapônico utilizando leitos cultivados semissecos.

de carbonato de cálcio, indicadoras de alcalinidade, apresentaram elevação até o 11º dia de cultivo e posteriormente seguiram padrões oscilantes, porém distintos entre todos os tratamentos, ao longo de todo o cultivo (Figura 4B). As concentrações dos parâmetros magnésio e cálcio apresentaram elevação até o 21º, seguiram oscilando, porém em concentrações distintas entre os tratamentos, até o final do cultivo (Figuras 4C e 4D).

Os tratamentos com densidade apresentaram diferenças significativas em relação à massa média final (g) dos alevinos de *C. macropomum* aos 110 dias de cultivo, alcançando  $90,89 \pm 5,05$ ;  $80,29 \pm 2,16$ ; e  $68,59 \pm 1,73$  nos tratamentos com 40, 80 e 120 alevinos, respectivamente ( $F=44.723$ ,  $P<0.001$ ). O consumo de alimentos aumentou com o aumento da densidade, chegando a valores médios de  $4,01 \pm 0,01$  kg;  $7,53 \pm 0,01$  kg; e  $11,10 \pm 0,04$  kg nos respectivos tratamentos ( $F=34.323$ ,  $P<0.001$ ). Além do consumo, a análise de variância demonstrou que a taxa de conversão alimentar foi negativamente afetada com o aumento da densidade, alcançando médias de  $1,14 \pm 0,08$ ;



**Figura 4.** Dinâmica dos valores de potássio (A), alcalinidade (B), magnésio (C) e cálcio (D) registrados na recriação de alevinos de *Colossoma macropomum* em diferentes densidades de estocagem em sistema aquapônico utilizando leitos cultivados semissecos.

$1,32 \pm 0,01$ ; e  $1,39 \pm 0,08$ , nos tratamentos com 40, 80 e 120 alevinos, respectivamente ( $F=13.065$ ,  $p<0.002$ ). Por outro lado, a produtividade total de peixes alcançou valores médios de  $3,52 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $6,16 \text{ kg m}^{-3}$  e  $7,99 \text{ kg m}^{-3}$  nos tratamentos com 40, 80 e 120 alevinos, respectivamente. A sobrevivência não foi comprometida pelo aumento da densidade sendo de  $96,88 \pm 2,39$ ;  $95,94 \pm 2,77$ ; e  $97,08 \pm 4,33$ , nos tratamentos com 40, 80 e 120 alevinos, respectivamente.

Os resultados sugerem que os nutrientes presentes na água da cultura de *C. macropomum*, representados pela CE, têm potencial para a cultura de alface hidropônica. A análise Anova bidirecional mostrou que a densidade de estocagem de peixes tem efeito sinérgico no número de folhas, massa fresca total (g) e rendimento de alface ( $\text{kg m}^{-2}$ ). Ambas as cultivares de alface cultivadas em água da densidade de 120 alevinos apresentaram um número maior de folhas do que a alface cultivada nas densidades de 40 e 80 alevinos.

Entretanto, tais parâmetros fitotécnicos não diferiram entre as cultivares. A massa fresca total e o rendimento foram maiores na densidade de 120 alevinos nas duas cultivares de alface.

## Discussão

---

A temperatura e o pH permaneceram dentro do intervalo recomendado ao cultivo de *C. macropomum* em cativeiro (Izel; Melo, 2004; Campeche et al., 2009; Cunha; Santos-Junior, 2011; Saint-Paul, 2017; Costa et al., 2019). Por outro lado, não foram adequados ao cultivo das alfaces que apresentam crescimento ótimo com temperaturas próximas a 24 °C (Rakocy, 2012) e pH próximo ao valor neutro (7,0) (Zou et al., 2016). As oscilações de temperatura da água observadas no estudo, seguiram padrão similar em todos os tratamentos como resposta às mudanças de temperatura do ar, sendo mais altas em dias mais ensolarados e mais baixas em dias nublados. Já as oscilações de pH ocorridas no estudo são consequência do processo natural de acidificação de água, resultado da formação de compostos ácidos durante a decomposição da matéria orgânica, e da correção efetuada com adição de cal, cujos picos de reação são visíveis.

Vários processos abióticos e bióticos regulam a remoção de poluentes em um sistema de aquaponia (Shi et al., 2011). Nesses processos, existe uma demanda significativa de oxigênio associada a reações químicas que ocorrem na água durante a decomposição de resíduos retidos nos substratos ou fluidizados na água, que deve ser somada às necessidades fisiológicas dos organismos aquáticos cultivados e microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e outros) associados às raízes das plantas e substrato (Shi et al., 2011). Rakocy (2012) recomenda que em sistemas de aquaponia a concentração de oxigênio deva ficar em torno de 5 mg L<sup>-1</sup>, pois isso favorece o máximo de saúde e crescimento de animais, plantas e bactérias nitrificantes. Neste estudo, a adição de aeradores melhorou o desempenho da área úmida global no tratamento de efluentes tal como sugerido por Zhang et al. (2011) e possibilitou a disponibilização de concentrações adequadas de oxigênio ao cultivo de *C. macropomum*, similares ao observado em sistemas tradicionais de cultivo dessa espécie (Izel; Melo, 2003; Sipaúba-Tavares et al., 2003; Campeche et al., 2009; Cunha; Santos-Junior, 2011; Saint-Paul, 2017; Costa et al., 2019). Entretanto, é possível notar uma gradativa redução nas

concentrações médias de OD ao longo do cultivo, como resposta ao aumento na demanda de oxigênio em razão do crescimento dos peixes.

As leituras de CE e TDS deste estudo estão no intervalo registrado na literatura para o cultivo de *C. macropomum* (Campeche et al., 2009; Cunha; Santos-Junior, 2011; Saint-Paul, 2017; Costa et al., 2019), e refletem a disponibilidade dos nutrientes para as exigências médias das alfaces, especialmente nas densidades de 80 alevinos e 120 alevinos. As alfaces em um sistema de aquaponia têm crescimento adequado em valores de CE entre 0,800 mS cm<sup>-1</sup> e 1,300 mS cm<sup>-1</sup> e TDS entre 0,56 mg L<sup>-1</sup> e 0,84 mg L<sup>-1</sup> (Zachritz et al., 2008; Sace; Fitzsimmons, 2013).

Neste estudo, observamos que o aumento da densidade contribuiu para o aumento dos compostos de nitrogênio, especialmente nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Os dados de amônia total e nitrito ficaram dentro da faixa tolerada para *C. macropomum* (Souza-Bastos et al., 2017). Entre os compostos nitrogenados, o nitrato é o produto final da nitrificação e também o principal nutriente para o crescimento dos vegetais e microrganismos na aquaponia, e assim a concentração observada na água é o resultado do equilíbrio entre a nitrificação e a absorção das plantas (Zou et al., 2016). Neste ensaio, a concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi satisfatória para a produção de alface em todos os tratamentos, e compatível com valores reportados na literatura para sistemas de aquaponia (Wongkiew et al., 2017).

O fósforo (P) e o potássio (K) são elementos cruciais no metabolismo das plantas e animais. Nas plantas, o fósforo tem papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, enquanto que nos animais, esse elemento é componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (Cerozi; Fitzsimmons, 2017). As concentrações de fosfato observadas no estudo estão adequadas ao desenvolvimento de *C. macropomum* (Santos, 2012) e compatíveis com valores indicados para sistemas de aquaponia (Cerozi; Fitzsimmons, 2017).

O potássio nas plantas também desempenha papel importante em várias reações metabólicas, incluindo acumulação de nutrientes como ferro e clorofila na parte aérea e na síntese de hormônios que ajudam no desenvolvimento vegetativo (Roosta, 2014). Em organismos aquáticos, o potássio tem se mostrado importante na água de cultivo, principalmente por estar relacionado

a mecanismos de osmorregulação e atividades musculares (Tavabe et al., 2015; Al-Saad, 2017). Até o momento não há na literatura recomendações estabelecendo concentrações mínimas ou máximas de potássio e fósforo em sistema de aquaponia, apenas registros desses nutrientes nos diferentes estudos. Entretanto, concentração de potássio acima de 19,5 mg L<sup>-1</sup> em hidroponia tem se mostrado crítica ao desenvolvimento de alface (Maruo et al., 2004). Independente da densidade, as concentrações de potássio e fosfato registradas no presente estudo estão abaixo dos valores reportados na literatura sobre aquaponia (Roosta, 2014; Nozzi et al., 2018). Em relação ao cultivo de tambaqui, não foram encontradas na literatura recomendações limítrofes de concentrações para potássio. Contudo, cabe ponderar que em outras espécies de peixe, concentrações muito elevadas ou muito baixas de potássio podem interferir nos processos de osmorregulação (Al-Saad, 2017).

A alcalinidade é um importante critério de qualidade da água na aquicultura. Quando a água tem baixa alcalinidade (<20 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>) é considerada menos adequada ao cultivo por deixar as atividades químicas da água instáveis, permitindo fortes oscilações no pH da água por exemplo, e por isso deve ser adequadamente monitorada e mantida próxima a 100 mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> para uma produção sustentável (Adhikari et al., 2007). Apesar das intervenções com adição de cal durante o cultivo, os valores de alcalinidade registrados neste estudo foram inferiores ao valor considerado adequado para a cultura de *C. macropomum* (Campeche et al., 2009), indicando a necessidade de correções mais frequentes.

Nos sistemas aquapônicos, o cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais porque tanto os animais quanto as plantas utilizam esse elemento em várias atividades metabólicas, e cálcio e magnésio em concentrações muito baixas ou muito altas, podem afetar negativamente o metabolismo desses organismos (Adhikari et al., 2007). Os valores de cálcio e magnésio, indicadores de dureza da água, registrados no estudo estão abaixo dos recomendados para o cultivo de *C. macropomum* e para ambas as cultivares de *Lactuca sativa* L., reforçando a necessidade de correções mais frequentes e em maior quantidade desses elementos no sistema de aquaponia avaliado neste estudo.

Em um contexto geral, os parâmetros de qualidade de água registrados em todos os tratamentos, estão dentro dos recomendados pela Resolução

Conama Nº 357, de 17 de março de 2005, indicando que podem ser eventualmente descartadas em corpos de águas naturais sem prejuízo ao meio ambiente (Brasil, 2005). Contudo, como se trata de um sistema de produção complexo, o monitoramento de parâmetros de qualidade devem ser realizados para avaliações físico-químicas e microbiológica, embora esta última avaliação não tenha sido abordada no presente estudo.

O manejo da densidade populacional na produção de *C. macropomum* pode afetar inúmeros parâmetros zootécnicos, como: alimentação, sobrevivência, crescimento, comportamento, saúde e produtividade (Santos et al., 2014; Silva; Fujimoto, 2015; Costa et al., 2019). Nossos resultados corroboram essa teoria. Os efeitos registrados neste estudo incluem a diminuição da massa final e o aumento do consumo de alimentos, sugerindo que *C. macropomum* cultivado em pequenos tanques pode ser sensível à competição intraespecífica. No entanto, surpreendentemente, a sobrevivência não foi influenciada negativamente e a produtividade aumentou com o aumento da densidade de estocagem.

Temperaturas elevadas, baixa concentração de macronutrientes, baixo oxigênio dissolvido e altos valores de sólidos em suspensão são restrições significativas ao uso da água da aquicultura na produção de alface (Sace; Fitzsimmons, 2013; Sikawa; Yakupitiyage, 2010). O volume de resíduos orgânicos gerado neste estudo foi satisfatório para disponibilizar nutrição adequada para alface, porém a temperatura não. Outro ponto a ressaltar é o fato do crescimento da alface ter uma inter-relação com a concentração iônica, a vazão da solução nutritiva e a temperatura, que são variáveis relevantes na disponibilidade de nutrientes e retenção de água em um sistema hidropônico (Genuncio et al., 2012; Guimarães et al., 2016).

## Conclusão

---

O sistema de aquaponia utilizando LCSS foi eficiente no tratamento da água mantendo boas condições ao crescimento de juvenis de tambaquis em todas as densidades. Porém, nem todos os parâmetros atenderam às recomendações de concentração de nutrientes para o crescimento das alfaces, especialmente a temperatura, o pH e concentrações de cálcio e magnésio.

As melhores condições de qualidade de água ao cultivo dos peixes foram encontradas na densidade de 40 alevinos, porém para as plantas, as densidades de 80 alevinos e 120 alevinos apresentaram condições mais adequadas.

Com exceção da temperatura, todos os parâmetros de qualidade de água variaram em decorrência das diferentes cargas de nutrientes geradas nas três densidades testadas.

Apesar da rotineira adição de nutrientes através da ração e de cal hidratada ao longo do estudo, as concentrações de potássio, fosfato, cálcio, magnésio e carbonatos (alcalinidade), se mantiveram abaixo dos níveis considerados ideais em sistema de aquaponia, sugerindo a necessidade de maior adição desses compostos no sistema.

## Agradecimentos

---

Aos acadêmicos Uclédia Roberta Alberto dos Santos, Rogério Morais de Lima e Cláudiana de Lima Castilho pela colaboração na montagem do sistema de leitos cultivados semisssecos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pelo apoio estrutural e financeiro conforme código SEG 0313090110000.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro efetuado, conforme processo nº 444367/2014-4.

## Referências

---

- ADHIKARI, S.; CHAURASIA, V. S.; NAQVI, A. A.; PILLAI, B. R. Survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii* (DeMan) juveniles in relation to calcium hardness and bicarbonate alkalinity, **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 7, p. 23–6, 2007.
- AI-SAAD, D. O. A. Effect of salty feeding on sodium and potassium ions concentrations and water content of common carp (*Cyprinus carpio*) muscles. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 5, n. 4, p. 693-696, 2017. Disponível em: <<http://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue4/PartI/5-3-333-517.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- ALTIERI, M. A. **Agroecology**: principles and strategies for designing sustainable farming systems. London, UK: Earthscan, 2002. p. 40–46.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

CAMPECHE, D. F. B.; PEREIRA, L. A.; FIGUEIREDO, R. A. C. R.; PAULINO, R.V.; ALVES, M. A.; NOVA, L. L. M. V.; GUEDES, E. A. C. Limnological parameters and phytoplankton in fishponds with tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) in the semi-arid region. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 21, n. 3, p. 333-341, 2009. Disponível em:<<http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/v21n3a210306.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

COSTA, O. T. F.; DIAS, L. C.; MALMANNA, C. S. Y.; FERREIRA, C. A. L.; CARMO, I. B.; WISCHNESKI, A. G.; SOUSA, R. L.; CAVERO, B. A. S.; LAMEIRAS, J. L. V.; SANTOS, M. C. dos. The effects of stocking density on the hematology, plasma protein profile and immunoglobulin production of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in Brazil. **Aquaculture**, v. 499, p. 260–268, 2019. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848618311360>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y.; NUNES, M. U. C. **Sistema familiar de aquaponia em canaletas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 16 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Circular técnica, 81). Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156272/1/CT-81.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

CEROZI, B. S.; FITZSIMMONS, K. M. Phosphorus dynamics modeling and mass balance in an aquaponics system. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 94–100, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/313243815\\_Phosphorus\\_dynamics\\_modeling\\_and\\_mass\\_balance\\_in\\_an\\_aquaponics\\_system](https://www.researchgate.net/publication/313243815_Phosphorus_dynamics_modeling_and_mass_balance_in_an_aquaponics_system)>. Acesso em: 22 fev. 2019.

CUNHA V. V.; SANTOS-JÚNIOR, A. Crescimento de juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), em tanques-rede com diferentes densidades populacionais em Ji-Paraná, Ro. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 6, n. 12, jan./jun. 2011. Disponível em:<<https://www.yumpu.com/pt/document/read/16073610/crescimento-de-juvenis-de-tambaqui-colossoma-macropomum>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

EMERENCIANO, M. G. C.; MELLO, G. I.; PINHO, S. M.; MOLINARI, D.; BLUM, M. N. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, v. 25, p. 24-35, 2015. Disponível em:<<https://panoramadaaquicultura.com.br/aquaponia-uma-alternativa-de-diversificacao-na-aquicultura/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

GENUNCIO, G. da C.; GOMES, M.; FERRARI, A. C.; MAJEROWICZ, N.; ZONTA, E.

Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution.

**Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 526–530, jul./set. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&tlang=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&tlang=en)>.

Acesso em: 3 jan. 2019.

GUIMARÃES, I. P. ; OLIVEIRA, F. de A. de; TORRES, S. B.; PEREIRA, F. E. C. B.; FRANÇA, F. D. de; OLIVEIRA, M. K. T. de. Use of fish-farming wastewater in lettuce cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 728–733, 2016. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v20n8/1415-4366-rbeaa-20-08-0728.pdf>>.

Acesso em: 3 jan. 2019.

HAMMER, O.; HARPER, D. A.T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletronica**, v. 4, n.1, p. 1-9. 2001. Disponível em:<[https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2019.

IZEL, A. C. U.; MELO, L. A. S. Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2004. 20 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 32). Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46467/1/Doc-32.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

LOVE, D. C.; FRY, J. P.; LI, X.; HILL, E. S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON, R. E. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey, **Aquaculture**, v. 435, p. 67–74, Jan. 2015.

MARUO, T.; TAKAGAKI, M.; SHINOHARA, Y. Critical nutrient concentrations for absorption of some vegetables. **Acta Horticultae**, n. 644, p. 493–499, 2004. Disponível em: <[https://www.actahort.org/books/644/644\\_66.htm](https://www.actahort.org/books/644/644_66.htm)>. Acesso em: 8 ago. 2019.

MCDONALD J. H. **Handbook of biological statistics**. 3rd ed. Baltimore, MD: Sparky House Publishing, 2014. 299 p.

NOZZI, V.; GRABER, A.; SCHMAUTZ, Z.; MATHIS, A.; JUNGE, R. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 27, Mar. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/27>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

RAKOCY, J. E. **Aquaponics-integrating fish and plant culture**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2012. p. 344–386.

- ROOSTA, H. R. Effects of foliar spray of K on mint, radish, parsley and coriander plants in Aquaponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 14, p. 2236–2254, 2014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2014.920385>>. Acesso em: 4 jan. 2019.
- SACE, C. F.; FITZSIMMONS, K. M. Recirculating aquaponic systems using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) polyculture and the productivity of selected leafy vegetables. **Merit Research Journal of Business and Management**, v. 1, n. 1, p. 11–29, Ago. 2013.
- SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5, p. 1–9, 2017.
- SANTOS, B. L. T.; ANDRADE, J. E.; SOUSA, R. G. C. Densidade de estocagem utilizada no desenvolvimento do tambaqui em fase de pré-engorda. **Scientia Amazonia**, v. 3, n. 3, p. 41–50, Set./Dez. 2014.
- SANTOS, J. G. A. **Exigência em fósforo digestível para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2012. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, Goiânia.
- SHI, Y.; ZHANG, G.; LIU, J.; ZHU, Y.; XU, J. Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp grow out systems. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 20, p. 9416–9424, Out. 2011.
- SILVA, A. D. R.; SANTOS, R. B.; BRUNO, A. M. S. S.; SOARES, E. C. Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 517-524, dez. 2013.
- SILVA, C. A.; FUJIMOTO, R.Y. Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanques-rede. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 3, p. 323–332. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v45n3/1809-4392-aa-45-03-00323.pdf>>. Acesso em 22 fev. 2019.
- SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; GOMES, J. P. F. S.; BRAGA, F. M. S. Effect of liming management on the water quality in *Colossoma macropomum* ("Tambaqui"), ponds. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 15, n. 3, p. 95-103, 2003. Disponível em:<[http://ablimno.org.br/acta/pdf/acta\\_limnologica\\_contents1503E\\_files/art9\\_15\(3\).pdf](http://ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1503E_files/art9_15(3).pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2019.
- SOUZA-BASTOS, L. R.; VAL A. L.; WOOD C. M. Are Amazonian fish more sensitive to ammonia? Toxicity of ammonia to eleven native species. **Hydrobiologia**, v. 789, p. 143–155, 2017.

TAVABE, K. R.; RAFIEE, G.; FRINSKO, M.; DANIELS, H. Interactions of different sodium and potassium concentrations on *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) offspring quality parameters. **Aquaculture Research**, v. 46, p. 2615–2627, 2015.

TURCIO, A. E.; PAPENBROCK, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What can we learn from the Past for the Future? **Sustainability**, v. 6, p. 836–856, 2014.

WONGKIEW, S.; HU, Z.; CHANDRAN, K.; LEE, J. W.; KHANAL, S. K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: a review. **Aquacultural Engineering**, v. 76, p. 9–19, Jan. 2017.

ZACHRITZ, W. H.; HANSON, A. T.; SAUCEDA, J. A.; FITZSIMMONS, K. M. Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquacultural Engineering**, v. 39, n. 1, p. 16–23, Ago. 2008 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860908000228#!>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ZHANG, S. Y.; LI, G.; WU, H.-B.; LIU, X.-G.; YAO, Y.-H.; TAO, L.; LIU, H. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 93–102, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860911000471#!>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ZOU, Y.; HU, Z.; ZHANG, J.; XIE, H.; GUIMBAUD, C.; FANG, Y. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 210, n. 3, p. 81–87, Jan. 2016. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415017198>>. Acesso em: 4 jan. 2019.





MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO

