

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Naiara Pinho Alves

Adição de diferentes fontes de carbono no BFT para a produção de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*)

Belo Horizonte - MG

2022

Naiara Pinho Alves

Adição de diferentes fontes de carbono no BFT para a produção de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do grau de Mestra em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal/Aquacultura

Orientadora: Dra. Cintia Labussière Nakayama

Belo Horizonte - MG

Agosto de 2022

A474a Alves, Naiara Pinho, 1994-
Adição de diferentes fontes de carbono no BFT para a produção de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) /Naiara Pinho Alves. -2022.
52f: il.

Orientadora: Cíntia Labussiere Nakayama
Dissertação (Mestrado) apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Zootecnia.
Área de concentração: Produção Animal Aquacultura
Inclui Bibliografia

1. Tambaqui - Peixes - Teses - 2. Aquacultura - Teses - I. Nakayama, Cíntia Labussiere – II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - III. Título.

CDD – 636.089

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes CRB 2569
Biblioteca da Escola de Veterinária, UFMG.



ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte - MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao
E-mail cpgzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE NAIARA PINHO ALVES

Às 14:00 horas do dia 17 de agosto de 2022, reuniu-se, de forma presencial, a Comissão Examinadora de dissertação, aprovada em reunião ordinária no dia 29/07/2022, para julgar, em exame final, a defesa da dissertação intitulada: **Adição de diferentes fontes de carbono no BFT para a produção de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*)**, como requisito final para a obtenção do Grau de **Mestre em Zootecnia, área de concentração Produção Animal - Aquacultura**

1. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Cintia Labussière Nakayama, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de dissertação, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da dissertação, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof. (a)/Dr. (a) <u>Michelle Midori Sena Fugimura</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof. (a)/Dr. (a) <u>Galileu Crovatto Veras</u>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Prof. (a)/Dr. (a) <u>Cintia Labussière Nakayama</u>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Prof. (a)/Dr. (a) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof. (a)/Dr. (a) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)
 Reprovado (a)

Para concluir o Mestrado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da dissertação acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da dissertação apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 17 de agosto de 2022.

Assinatura dos membros da banca:

.....
.....

.....

Documento assinado digitalmente
MICHELLE MIDORI SENA FUGIMURA
Data: 21/08/2022 22:54:28-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

.....
.....

.....

Doutorado/Atadefesa.doc

DEDICATÓRIA

Dedico a todas as mulheres, por toda resiliência, força e amor
ao que faz.

AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente, discente e técnico do Setor de Aquacultura do programa de Pós-Graduação em Zootecnia da EV/UFMG por todo aprendizado e convívio, vocês contribuíram para a minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Em especial, quero agradecer a minha orientadora Cíntia Labussière Nakayama, pela oportunidade, confiança, disponibilidade e incentivo na realização dos trabalhos acadêmicos.

À UFMG por toda infraestrutura necessária à execução das atividades.

Ao CNPq e CAPES, pela bolsa de mestrado.

Aos docentes: Ronald Kennedy Luz, Paula Adriane Perez Ribeiro e Gisele Cristina Favero, obrigada pelo fornecimento dos animais, rações e empréstimo dos equipamentos. Aos colegas do Laboratório de Larvicultura e Maricultura II, obrigada por toda a experiência, e ajuda no experimento realizado.

As técnicas Suellen Cristina Moreira de Sales e Érika Ramos de Alvarenga, obrigada pelo apoio técnico durante a execução deste trabalho.

Aos meus familiares, obrigada por tudo. Vocês são muito especiais. A força que tenho para realização dos meus objetivos são por causa de vocês e para vocês.

A Weldon Ribeiro Santos, você deixou a minha caminhada muito mais leve. Obrigada por todo carinho, amizade e respeito.

Ao Divino, obrigada! Sou grata por todos os ensinamentos, por toda experiência, por todas as pessoas que estiveram em algum momento nessa caminhada. Sei que tudo tem um propósito.

Aho!

EPÍGRAFE

“Nossa própria vida tem que ser nossa mensagem”

Thich Nhat Hanh

RESUMO

A expressiva produtividade do *Colossoma macropomum* está atribuído às suas características favoráveis como boa aceitação a rações comerciais, rusticidade, bom desempenho zootécnico e aceitação da sua carne no mercado. A implementação de sistemas de produção capazes de fornecer biossegurança, são alternativas capazes de utilizar o mínimo dos recursos hídricos e reduzir o impacto ambiental. Dentre esses sistemas, está a tecnologia de bioflocos (BFT), que tem como princípio para sua formação a adição de fonte externa de carbono orgânico a partir da relação carbono: nitrogênio (C:N), estimulando a produção de bactérias heterotróficas. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das diferentes fontes de carbono na produção do tambaqui (*C. macropomum*) em sistema de bioflocos, visto que, os estudos têm apontado que diferentes fontes de carbono orgânico adicionados ao BFT influenciam o desenvolvimento do sistema, estimulando o crescimento da comunidade bacteriana, conferindo ainda diferentes características do bioflocos, parâmetros de qualidade da água, desempenho de crescimento ou bem-estar das espécies produzidas. O experimento foi realizado durante 85 dias no Laboratório de Aquicultura (LAQUA) da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Brasil. Utilizando um delineamento inteiramente ao acaso em dois tipos de sistemas: BFT e de recirculação de água (RAS) em água clara (AC). Nos sistemas de BFT foram utilizadas três diferentes fontes de carbono como tratamento, em quadruplicata: Farelo de trigo (25%) + Açúcar cristal (75%), Amido e Açúcar cristal. Os parâmetros de qualidade de água como o OD (mg/L), temperatura (°C), TAN (mg/L), N-NO₂⁻ (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO₃/L) e SS (ml/L) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), exceto o SST (ml/L). Os dados mostram diferenças estatísticas no desempenho zootécnico dos *C. macropomum* na fase de alevinagem para peso final, comprimento, biomassa e GP ($p < 0,05$). As fontes de carboidratos interferem no desempenho zootécnico dos juvenis de *C. macropomum*, sendo recomendada o açúcar cristal para essa fase, de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pois proporcionou assim como o sistema de água clara, os melhores resultados em relação ao peso final, ganho de peso e biomassa.

Palavras chaves: Sistema intensivo, peixe redondo, compostos nitrogenados e aminoácidos.

ABSTRACT

The expressive productivity of *Colossoma macropomum* is attributed to its favorable characteristics such as good acceptance of commercial rations, rusticity, good zootechnical performance and acceptance of its meat in the market. The implementation of production systems capable of providing biosecurity are alternatives capable of using the minimum of water resources and reduce environmental impact. Among these systems is the biofloc technology (BFT), whose principle for its formation is the addition of an external source of organic carbon based on the carbon: nitrogen (C:N) ratio, stimulating the production of heterotrophic bacteria. Thus, the present work aimed to evaluate the effect of different carbon sources on the production of tambaqui (*C. macropomum*) in a biofloc system, since studies have shown that different sources of organic carbon added to BFT influence the development of system, stimulating the growth of the bacterial community, also conferring different characteristics of the biofloc, parameters of water quality, growth performance or well-being of the species produced. The experiment was carried out for 85 days at the Aquaculture Laboratory (LAQUA) of the Veterinary School of the Federal University of Minas Gerais-UFMG, Brazil. Using a completely randomized design in two types of systems: BFT and water recirculation (RAS) in clear water (AC). In the BFT systems, three different carbon sources were used as treatment, in quadruplicate: Wheat bran (25%) + Crystal sugar (75%), Starch and Crystal sugar. Water quality parameters such as OD (mg/L), temperature (°C), TAN (mg/L), N-NO₂⁻ (mg/L), pH, alkalinity (mg CaCO₃/L) and SS (ml/L) showed significant differences between treatments ($p < 0.05$), except for SST (ml/L). The data show statistical differences in the zootechnical performance of *C. macropomum* in the nursery stage for final weight, length, biomass and GP ($p < 0.05$). Carbohydrate sources interfere in the zootechnical performance of *C. macropomum* fingerlings, and crystal sugar is recommended for this phase, according to the results obtained in this study, as it provided, as well as the system, of clear water, the best results in relation to final weight, weight gain and biomass.

Keywords: Intensive system, round fish, nitrogen compounds and amino acids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclo de nitrogênio em sistema intensivo em BFT.....	17
Figura 2: Produção de peixes nativos no Brasil (2019-2021)	22
Figuras 3: Curvas dos parâmetros de qualidade de água (oxigênio dissolvido, temperatura, TAN (mg/L), N-NO ₂ ⁻ (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO ₃ /L), SST (ml/L) e SS (mL/L) em sistema de bioflocos com diferentes fontes de carbono: Farelo de trigo + Açúcar, Amido, Açúcar e sistema água clara RAS: RAS, na produção de <i>Colossoma macropomum</i> em fase de alevinagem.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferentes fontes de carbono utilizadas em sistema de bioflocos.....	18
Tabela 2: Parâmetros de qualidade de água (oxigênio dissolvido (mg/L), temperatura (°C), N-AT (mg/L), N-NO ₂ ⁻ (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO ₃ /L), SST (ml/L) e SS (ml/L) em sistema de bioflocos com diferentes fontes de carbono (Farelo de trigo + Açúcar, Amido, Açúcar) e sistema água clara (RAS: RAS) na produção de <i>Colossoma macropomum</i> em fase de alevinagem.....	40
Tabela 3: Desempenho zootécnico de <i>Colossoma macropomum</i> na fase de alevinagem em sistema de bioflocos utilizando diferentes fontes de carbono e em sistema de recirculação.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

AC - água clara

AÇÚ - açúcar

AMI - amido

OD - oxigênio dissolvido

C - carbono

CA - conversão alimentar

CaCO₃ - carbonato de cálcio

COD - carbono orgânico dissolvido

CV - compressor radial

FAÇÚ - farelo + açúcar

FCR - feed conversion ratio

ln - logaritmo natural

pH - potencial hidrogeniônico

PHB: polihidroxibutirato

TCE - taxa de crescimento específico

LISTA DE SIGLAS

BFT - Biofloc Technology

CEUA - Comissão de ética no uso de animal

EV/UFMG – Escola Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAQUA - Laboratório de Aquacultura

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

RAS- Recirculating Aquaculture System

SisRGP - Sistema Informatizado do Registro Geral de Pesca

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE SIMBÓLOS

% - porcentagem

‰ – parte por milhão

°C - graus Celsius

cm - centímetro

C:N - relação carbono e nitrogênio

g - grama

g/L - grama por litro

H₂O - água

km - quilômetro

L - litro

m³ - metros cúbicos

mg - miligrama

mg CaCO₃/L - miligrama de carbonato de cálcio por litro

mg/L - miligrama por litro

ml - mililitro

L/h - litro por hora

NH₃ - amônia não ionizada ou amônia gasosa

NH₄⁺ - cátion monovalente amônia ionizada ou íon amônio

N-NH₃ - nitrogênio na forma de amônia não ionizada

N-NO₂ - - nitrogênio na forma de nitrito

NO₂⁻ - - ânion monovalente do elemento químico nitrito

TAN - amônia total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 Tecnologia de bioflocos (BFT).....	17
2.2 Fontes de Carbono.....	18
2.2.1. Farelo de trigo	20
2.2.2. Amido	20
2.2.3. Açúcar cristal.....	21
2.3 Produção x Fontes de carbono.....	21
2.4 Colossoma macropomum	22
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 Objetivo Geral.....	25
3.2 Objetivos específicos	25
4. REFERÊNCIAS	26
5. MANUSCRITO	36
Resumo.....	36
Abstract	36
Introdução.....	38
Material e Métodos	38
Resultados	40
Discussão.....	45
Qualidade da água.....	45
Desempenho Zootécnico	47
Conclusão.....	48
Agradecimentos.....	48
Referências.....	49

1. INTRODUÇÃO GERAL

Novas alternativas têm sido propostas para a produção de alimentos de forma mais sustentável. No caso da aquicultura, na esfera ambiental, a preocupação com sustentabilidade se faz, principalmente, em relação ao recurso hídrico. A implementação de sistemas de produção aquícola capazes de fornecer biossegurança por meio de sistemas fechados, ou seja, sistemas intensivos compostos de filtros que permitem a recirculação de água, por exemplo, são alternativas capazes de utilizar o mínimo dos recursos hídricos na tentativa de reduzir o impacto ambiental, além da estabilização dos parâmetros de qualidade de água.

Como sistema fechado em destaque o bioflocos tem como características: reduzidas trocas de água, ciclagem de nutrientes, permite altas densidades de estocagem, além da possibilidade de reuso da água de produção por mais ciclos (Avnimelech, 2007).

A tecnologia de bioflocos (BFT - sigla do inglês para biofloc technology) quando bem manejado, possibilita boa qualidade de água, sobretudo no controle dos compostos nitrogenados realizados por meio da ciclagem de nutrientes pelos microrganismos. Além do bioflocos ser considerado uma fonte suplementar de alimento (Samocho et al., 2007).

No sistema de bioflocos os resíduos mantidos no tanque são convertidos em biomassa bacteriana por meio da manipulação da relação de carbono para nitrogênio (C:N) (Khanjani & Sharifinia 2020). A fonte de carbono para formação do bioflocos tem como características desejáveis ser: orgânica, externa e biodisponível (Avnimelech, 2007).

Diversos substratos carbonosos são utilizados na razão C:N em BFT, categorizados pela composição química e velocidade que libera carbono orgânico na água (Abakari et al., 2021). Carbonatos simples como glicose e sacarose são fontes rápidas para bactérias heterotróficas diferentemente dos carboidratos mais complexos como amido e melão que dependem de mais tempo em decorrência de ser necessário à sua degradação (Serra et al., 2015). Entretanto, diferentemente dos substratos simples, os substratos complexos liberam mais rápido o carbono orgânico dissolvido (COD) e conseqüentemente a remoção da amônia no sistema ocorre de forma mais acelerada. Porém, a utilização de algumas fontes de carbono tem sido questionada a sua utilização na formação do BFT devido os custos, cálculos para evitar superdosagem e a redução repentina do oxigênio quando suplementado nos sistemas de produção (Luo et al. 2017; Abakari et al., 2021). Fica evidente que estudo com uso de diferentes fontes de substratos carbonáceos para formação de bioflocos em organismos aquáticos se faz necessário para entender como esses se comportam de acordo com a espécie utilizada.

A América do Sul caracteriza-se por sua diversificada fauna de peixes de água doce, visto que, só na Bacia Amazônica são registradas 2.411 espécies de peixes (Reis et al., 2016). Entre eles desta-se o *Colossoma macropomum* conhecido popularmente como tambaqui. Essa espécie tem chamado a atenção de produtores e pesquisadores. Seu destaque na produção é atribuído a boa aceitação a rações comerciais, desempenho zootécnico, rusticidade entre outros (Zaniboni Filho & Weingartner, 2007; Lobo et al., 2015).

Diante do exposto, o presente estudo avalia a adição de diferentes fontes de carbono para formação de bioflocos na qualidade da água e no desempenho zootécnico do tambaqui, *Colossoma macropomum*.

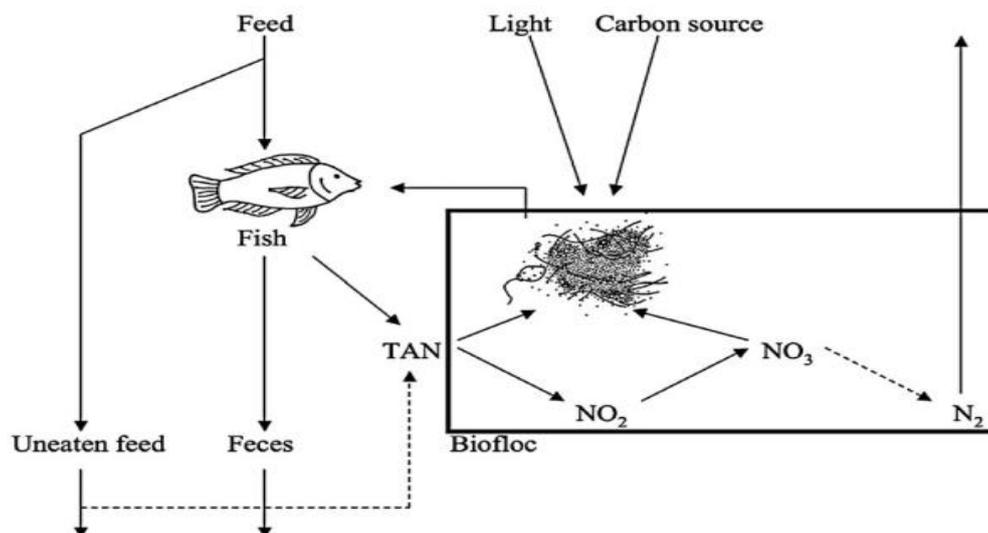
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologia de bioflocos (BFT)

Sistemas intensivos apresentam vantagens sobre os extensivos tradicionais, apresentando maior produtividade, por outro lado, são mais dependentes de alimento comerciais, equipamentos, mão-de-obra mais qualificada e maior atenção no manejo de qualidade de água (Avnimelech, 2007). Os sistemas BFT vem se apresentando como uma possibilidade de produção em que permite a utilização de altas densidades de estocagem a partir do controle de qualidade de água por meio da microbiota, principalmente, por meio das bactérias heterotróficas (Martínez-Cordova et al., 2015). Essa técnica de produção reduz a descarga de efluentes, sobretudo de nitrogenados para o ambiente, promove biossegurança e evita escapes dos animais para o meio (Avnimelech, 2007). Embora os sistemas de recirculação de água (RAS – sigla em inglês para Recirculating Aquaculture System) também promova melhorias na qualidade de água, este sistema necessita de equipamentos externos como biofiltros, bombas e filtros mecânicos para o tratamento da água, diferentemente do BFT que pode operar com número reduzido de equipamentos (Khanjani & Sharifinia 2020).

O BFT tem como princípio para sua formação a adição de fonte externa de carbono orgânico a partir da relação carbono: nitrogênio (C:N), essa relação estimula a produção de bactérias heterotróficas. A relação de C:N podem variar de 20:1 a 6:1 durante o processo de maturação e manutenção do sistema BFT, por exemplo (Khanjani & Sharifinia 2020). A fonte de N é proveniente principalmente do produto de excreção dos peixes/camarões e das sobras de rações e a caracterizamos por meio da amônia total no sistema. Já o C se faz necessária sua suplementação, via externa, mesmo que haja o resto de ração biodisponível o C não atinge as proporções desejadas para formação de bioflocos.

Figura 1: Ciclo de nitrogênio em sistema intensivo em BFT.



Fonte: Crab et al., 2007

2.2 Fontes de Carbono

Os estudos têm apontado que diferentes fontes de carbono orgânico como mandioca, melão, dextrose, resíduo de cervejaria, farinha de trigo, farelo de arroz (Fugimura et al., 2015; Romano et al., 2018; Suita et al., 2015; García-Ríos et al., 2019) adicionados ao BFT influenciam o desenvolvimento do sistema, estimulando o crescimento da comunidade bacteriana, conferindo ainda diferentes características do biofloc, parâmetros de qualidade da água, desempenho de crescimento ou bem-estar das espécies produzidas (Crab, 2010; Abakari et al., 2021).

O carbono representado pelo carboidrato é um macronutriente abundante como fonte de energia para a maioria das bactérias heterotróficas (Abakari et al., 2021), e alguns trabalhos indicaram que fontes de carboidratos como a glicose, o glicerol e o amido, favorecem o domínio das bactérias dos filos Proteobacteria e Bacteroidetes, correspondendo mais de 70% da comunidade total de bactérias (Wei et al., 2020). E que usando o açúcar mascavo, a Proteobacteria correspondeu a mais de 67% da população de bactérias dominantes (Luo et al., 2017). Em estudos realizados usando o trigo, foram identificados Planctomycetes, Proteobacteria, Firmicutes e Bacteroidetes como filos dominantes (Vargas-Albores et al., 2019). O Proteobacteria é um filo que representa um papel importante no processo de ciclagem de nutrientes, mineralização de compostos orgânicos, além de regular a qualidade da água de forma eficaz na aquicultura (Paniagua Michel, 2017; Wei et al., 2020).

Um diferencial no uso de grãos ou farelos vegetais como fonte de carbono em BFT é que esses são considerados aptos a promover a floculação, ou seja, possuem dupla função no sistema, pois além de fornecer carbono orgânico a presença da celulose ajuda na adesão das bactérias, fornecendo condições adequadas para fixação das matrizes microbianas complexas (Fugimura et al., 2015; Serra et al., 2015).

Fica evidente que as fontes de carbono (Tabela 1) promovem o desenvolvimento de biomassa de bactérias, que a caracterização dessa biomassa se faz diferente pela fonte utilizada e podem alterar a condição e velocidade de formação do floco entre outros. Em relação a produção, a escolha de qual fonte de carbono utilizar, além do descrito, poderá ser baseada no preço, manejo adotado e disponibilidade local do produto (Fugimura et al., 2015).

Tabela 1: Diferentes fontes de carbono utilizadas em sistema de bioflocos.

Autores	Espécie (s) cultivada (s)	Fontes de Carbono
Avnimelech, 1999	Camarão (<i>P. monodon</i>)	Açúcar, Farinha de mandioca
Avnimelech, 2007	Tilápia (<i>O. mossambicus</i>)	Amido de milho
Crab et al., 2009	Tilápia híbrida	Amido de milho
Emerenciano et al., 2013	Camarão (<i>F. brasiliensis</i> ; <i>F. duorarum</i>)	Melaço de cana-de-açúcar, Farelo de trigo
Liu et al., 2014	Scat manchado (<i>S. argus</i>); Camarão (<i>L. vannamei</i>); Ipomoea aquática (<i>Ipomoea aquatic</i>).	Amido de milho
Wang et al., 2016	Camarão (<i>L. vannamei</i>)	Melaço de cana-de-açúcar; Farinha de milho; Farelo de trigo
Khanjani et al., 2017	Camarão (<i>L. vannamei</i>)	Melaço de cana-de-açúcar; Amido de milho; Farinha de trigo
Bakhshi et al., 2018	Carpa comum (<i>C. carpio L.</i>)	Melaço de beterraba; Açúcar; Amido de milho
Avnimelech, 2007	Tilápia (<i>O. mossambicus</i>)	Amido de milho
Mabroke, 2018	Tilápia (<i>O. niloticos</i>)	Melaço de cana-de-açúcar, Glicose, Amido de milho, Farelo de trigo, Celulose

2.2.1. Farelo de trigo

Fontes de carbono de baixo custo é uma alternativa de melhorar a eficiência nutricional do sistema através de um adicional proteico, além de fornecer sustentabilidade econômica ao cultivo (Asaduzzaman et al., 2010).

Hidratos de carbono mais complexos, como o farelo de milho e o trigo, têm a vantagem de fornecer uma estrutura para fixar as bactérias, porém, são metabolizados mais lentamente, exigindo um conjunto de enzimas bacterianas para sua degradação, que, quando ingeridas pelos peixes, auxiliam na digestão (Chamberlain, 2001).

Alguns autores como Emerenciano et al., 2013; Emerenciano et al., 2014; Wang et al., 2016 utilizaram o farelo de trigo como fonte de carbono para a fertilização do meio e obtiveram resultados na redução da concentração de amônia e controle de sólidos em sistemas com reduzida troca de água.

Emerenciano et al. (2014) observou que o sistema de cultivo fertilizado com farelo de trigo e melaço possibilitou uma maior produção de ovos e também tiveram maior atividade de desova em um período mais curto do que as fêmeas criadas no sistema convencional de águas claras, ou seja, o farelo de trigo junto com o melaço, contribuiu para a eficiência da desova em reprodutores de camarões da espécie *Farfantepenaeus duorarum*.

2.2.2. Amido

Alguns exemplos de fontes ricas em carbono (C) orgânico são: açúcar, melaço, amido, celulose, acetato, glicerol, entre outros (De Schryver et al., 2008; Avnimelech, 2009).

O amido é a principal fonte energética biodegradável e inovadora do milho (Cesar et al., 2021) responsável por 70-80% da energia calórica consumida mundialmente (Zobel; Stephen, 1995). Na indústria alimentícia, destaca-se por ter características espessantes e fornecer estruturas como sólidos para suspensões (Ascheri et al., 2010; Cavalcanti et al., 2011; Wang et al., 2016).

A sua origem e forma de extração influencia no seu uso e aplicabilidade industrial, além de interferir nas propriedades físico-químicas e funcionais (Xiao et al., 2011).

Em uso em BFT apontou o maior teor de lipídeos quando se utilizou o amido como fonte de carbono quando comparado a glicose, amido e glicerol (Wei; Wang & Liao, 2020). O uso de diferentes fontes de carbono para o cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema de bioflocos gerou flocos com elevadas concentrações de proteína, utilizando amido de milho como fertilizante (Mabroke, 2018).

2.2.3. Açúcar cristal

Os açúcares são carboidratos cristalizados comestíveis, principalmente sacarose, lactose e frutose, fornecem essencialmente a energia necessária para o crescimento celular (Degeest; De Vuyst, 2000).

É produzido a partir do xarope de cana-de-açúcar, e seu refinamento faz perder 90% dos minerais e nutrientes. Segundo Hargreaves (2013), o açúcar é a melhor fonte de carbono para adicionar durante a inicialização do sistema, aumentando a produção de bioflocos em menos tempo em decorrência da rápida assimilação pelas bactérias.

O Brasil é um dos maiores produtores exportadores de açúcar do mundo (Conab, 2013), portanto, é uma fonte com boa disponibilidade e de baixo custo, além de possuir cerca de 20 a 40% de C.

2.3 Produção x Fontes de carbono

Geralmente as fontes de carbono utilizadas para formação do BFT são atribuídas a três categorias: substratos solúveis de estrutura simples como glicose e sacarose, substratos solúveis como melão e degradação biológica de polímeros que possuem estruturas complexas como farelo, farinhas e subprodutos industriais (Serra et al., 2015; Fugimura et al., 2015; Panigrahi et al., 2019).

Como resultado dessas características, tem se observado a relação da fonte de carbono com o desempenho zootécnico no sistema BFT, assim como também seus efeitos na adequação de culturas como peixes e crustáceos específicos, visto que, a depender da fonte utilizada é considerada um alimento complementar no sistema (Rajkumar et al., 2016; Bakhshi et al., 2018; Khanjani & Sharifinia 2020). Além disso, foi observado maior sobrevivência em que *Macrobrachium rosenbergii* utilizando fonte de glicerol, acetato e glicose em sistema de bioflocos (Crab et al., 2010). Em *Litopenaeus vannamei* o melhor desempenho em de crescimento foi verificado utilizando como fonte a farinha de arroz quando comparado ao melão em um sistema de bioflocos (Kumar et al., 2017). Assim como a farinha de trigo que apresentou resultado superior de crescimento em *L. vannamei*, nesse caso os autores atribuíram a qualidade bromatológica do bioflocos, que possui maior porcentagem de proteína, lipídio e energia bruta, e que foi utilizada como alimento pelos camarões (Rajkumar et al., 2016). O mesmo pode ser visto em *Labeo rohita* quando utilizada a farinha de milho como fonte de carbono (Ahmad et al., 2016), e para *Pelteobagrus vachelli* utilizando amido de tapioca (Deng et al., 2018), todos em BFT. Em *Oreochromis niloticus* o farelo de arroz melhorou o crescimento e o estado imunológico

em BFT (Mansour & Esteban, 2017). Para *Cyprinus carpio* o amido de milho foi indicado como responsável pela melhor qualidade da água e rendimento de carcaça quando comparado ao uso de açúcar e melaço na produção (Bakhshi et al., 2018). Embora para *Clarias gariepinus* utilizando fontes orgânicas de carbono como sacarose, farelo de arroz, e glicerol não apresentassem diferenças no crescimento, a melhor taxa de sobrevivência 90,6% foi verificada no tratamento com glicerol (Dauda et al., 2017). Ainda sobre o desempenho em *L. vannamei* uma maior sobrevivência 62%, peso final e menor taxa de conversão foi verificada com o uso de polihidroxibutirato (PHB) quando comparado a glicose (Luo et al., 2019).

Diferentes fontes de carbono têm apresentado resultados eficientes na relação de C:N em BFT, porém os resultados mostram variados no desempenho das espécies produzidas (Hosain et al., 2021). Essencialmente, a escolha da adição da fonte de carbono na produção comercial estará diretamente relacionada ao seu custo, além do desempenho. Desta forma, estudos propõem uso de resíduos alimentares e subprodutos agrícolas como farinha de milho, farinha de arroz, farinha de trigo, amido de tapioca, celulose vegetal entre outros (Deng et al., 2018; Panigrahi et al. 2019; Abakari et al., 2021).

Por isso investigar o efeito das diferentes fontes de carbono na produção é necessário, de acordo com as características de cada espécie, além da disponibilidade nas diferentes regiões.

2.4 *Colossoma macropomum*

O *Colossoma macropomum* cognominado popularmente como tambaqui, é um peixe teleósteo, endêmico das águas ricas em nutrientes das bacias do rio Amazonas e Orinoco (Brian et al., 2004). É uma espécie nativa amplamente explorada pela pesca e mais produzida em cativeiro no Brasil.

A produção de peixes nativos em 2020 teve uma queda de 3,2%, correspondendo a 9.259 t a menos em relação ao ano de 2019 (PEIXEBR, 2020), conforme Figura 1.

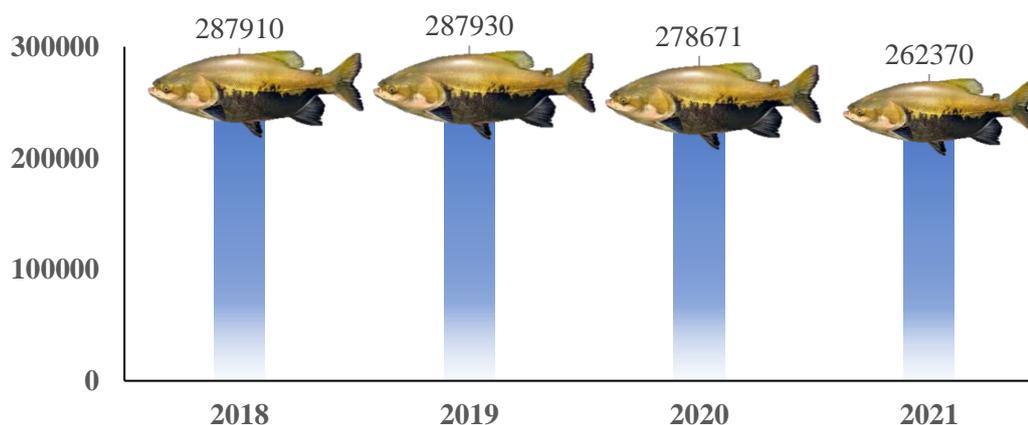


Figura 1: Produção de peixes nativos no Brasil. Fonte: Adaptada PeixeBR (2020)

A queda na produção de peixes nativos no Brasil tem sido atribuída aos problemas enfrentados em relação a legislação ambiental, segurança sanitária, falta de recursos financeiros para reinvestimento, e expansão da produção e consequências da pandemia por COVID-19 que acarretou o aumento do preço de insumos (IBGE, 2013; PEIXEBR, 2020). Apesar do cenário atual de recuo na produção aquícola de peixes nativos, mantém-se a expectativa de crescimento na produção do tambaqui.

O sucesso de produção do tambaqui é atribuído à sua facilidade de adaptação aos sistemas de produção, como sucesso reprodutivo por meio do domínio das técnicas de reprodução em cativeiro (Kubitza, 2004), boa aceitação a rações comerciais (Zaniboni Filho & Weingartner, 2007), bom desempenho zootécnico com destaque para eficiência alimentar (Lopera Barrero et al., 2015). Suas características ambientais e de comportamento alimentar demonstram a capacidade e necessidade do tambaqui quanto a oferta de nutrientes protéicos no sistema de produção (Correa et al., 2018). Como exemplo a maior exigência protéica na fase de alevinagem. Ademais, é conhecido por suas resistências às condições hipóxicas e ácidas (Saint-Paul 1984; Val e Almeida-Val 1995; Val et al., 1998a; Val et al., 1998b; Wilson et al., 1999; Chagas e Val 2006; Florindo et al., 2006; Robertson et al., 2015).

O tambaqui é um peixe onívoro, e por isso, possui a habilidade de filtrar fitoplâncton e zooplâncton por meio dos rastros brânquias. Sendo está uma das formas de alimentação tanto na natureza como em cativeiro. O estímulo da produção primária, e conseqüentemente o crescimento desses microrganismos (plânctons) acontece por meio da fertilização dos viveiros. Esse tipo de alimento é importante nas fases iniciais do tambaqui, pois acaba suprindo a

necessidade protéica, gerando o rápido crescimento nesse período. Todavia, alguns autores verificaram a adaptação favorável do tambaqui ao cultivo intensivo. E que o BFT proporcionou um melhor desempenho de crescimento quando comparado ao sistema de renovação de água (Dos Santos et al.,2020; Dos Santos et al., 2021). A microbiota formada no sistema de bioflocos tem como principal função a manutenção da qualidade água. Porém, também pode ser utilizada como fonte suplementar de alimentação aos animais cultivados.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos das diferentes fontes de carbono na qualidade de água e no desempenho produtivo de *Colossoma macropomum* em sistema de bioflocos na fase de alevinagem.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito das diferentes fontes de carbono na qualidade de água: oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pH, amônia total (TAN), nitrito (NNO_3^-), alcalinidade, sólidos sedimentáveis (SS), sólidos suspensos totais (SST);

Avaliar o efeito das diferentes fontes de carbono na produção de *C. macropomum* em sistema de bioflocos em relação aos parâmetros zootécnicos: ganho de peso, conversão alimentar, taxa de crescimento específico, biomassa, produtividade e sobrevivência;

4. REFERÊNCIAS

ABAKARI, G., LUO, G., KOMBAT, E. O., & ALHASSAN, E. H. (2021) Supplemental carbon sources applied in biofloc technology aquaculture systems: types, effects and future research. **Reviews in Aquaculture**, 13(3), 1193-1222. <https://doi.org/10.1111/raq.12520>.

AHMAD I., VERMA A., RANI A. B., RATHORE G., SAHARAN N., & GORA A.H. (2016) Growth, non-specific immunity and disease resistance of *Labeo rohita* against *Aeromonas hydrophila* in biofloc systems using different carbon sources. **Aquaculture**, 457, 61–67. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.02.011.

ASCHERI, D. P. R., MOURA, W. D. S., ASCHERI, J. L. R., & DE CARVALHO, C. W. P. (2010). **Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*)**. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/867979>

AVNIMELECH, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, 176(3-4), 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X).

AVNIMELECH, Y. (2007) Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. **Aquaculture**, 264(1-4), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>.

AVNIMELECH, Y. (2009). Biofloc technology: a practical guide book. **World Aquaculture Society**.

ASADUZZAMAN, M., RAHMAN, M. M., AZIM, M. E., ISLAM, M. A., WAHAB, M. A., VERDEGEM, M. C. J., & VERRETH, J. A. J. (2010). Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. **Aquaculture**, 306(1-4), 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.035>.

BAKSHI, F., NAJDEGERAMI, E. H., MANAFFAR, R., TUKMECHI, A., & FARAH, K. R. (2018) Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of

common carp (*Cyprinus carpio L.*) fingerlings. **Aquaculture**, 484, 259-267.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.036>.

BRIAN, J. C., HARVEY, B., ROSS, C., & BAER, A. (2004). **Migratory Fishes of South America, Migratory Fishes of South America**. Ottawa.

CAVALCANTI, C. R., SOUZA, F. C. S., & ALVES, G. S. (2011). **Estudo do gerenciamento da coleta seletiva dos resíduos sólidos no município de Mossoró-RN**. HOLOS, 4, 51-64.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481549217004>

CESAR, A. L. T. M. DE S.; CHEIM, L. M. G.; ROSSIGNOLI, P. A.; RODRIGUES, L. J.; SILVA, F. F. DA; TAKEUCHI, K. P.; CARVALHO, D. DE M.; FARIA, A. M. DE M. Physical chemical and rheologicals characterization of corn starch (zea mays l.) landraces popcorn. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 13, p. e402101321394, 2021. [doi.org/ 10.33448/rsd-v10i13.21394](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21394).

CHAGAS, E. C., & VAL, A. L. (2006). Ascorbic acid reduces the effects of hypoxia on the Amazon fish tambaqui. **Journal of Fish biology**, 69(2), 608-612.

<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01094.x>

CHAMBERLAIN, G., AVNIMELECH, Y., MCINTOSH, R., & VELASCO, M. (2001). Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C/N. **The Global Aquaculture Advocate**, 4, 53-56.

http://media.dhweb.com.s3.amazonaws.com/aes/GAA_articles/Chamberlain_April-2001.pdf.

Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento (2013) v.1 – Brasília: Conab. <http://www.conab.gov.br>.

CRAB, R., AVNIMELECH, Y., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P., & VERSTRAETE, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, 270(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>.

CRAB, R., KOCHVA, M., VERSTRAETE, W., & AVNIMELECH, Y. (2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, 40(3), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>.

CRAB, R., CHIELENS, B., WILLE, M., BOSSIER, P., & VERSTRAETE, W. (2010) The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. **Aquaculture Research**, 41(4), 559–567. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02353.x>.

CORREA, R. D. O., DE SOUSA, A. R. B., & MARTINS JUNIOR, H. (2018). Criação de tambaquis. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094579>.

DAUDA A. B., ROMANO N., EBRAHIMI M., KARIM M., NATRAH I., KAMARUDIN M. S., & EKASARI, J. (2017) Different carbon sources affects biofloc volume, water quality and the survival and physiology of African catfish *Clarias gariepinus* fingerlings reared in an intensive biofloc technology system. **Fisheries Science**, 83(6), 1037–1048. <https://doi.org/10.1007/s12562-017-1144-7>.

DEGEEST, B., & DE VUYST, L. (2000). Correlation of activities of the enzymes α -phosphoglucomutase, UDP-galactose 4-epimerase, and UDP-glucose pyrophosphorylase with exopolysaccharide biosynthesis by *Streptococcus thermophilus* LY03. **Applied and Environmental Microbiology**, 66(8), 3519-3527. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.8.3519-3527.2000>

DENG M., CHEN J., GOU J., HOU J., LI D., & HE X. (2018) The effect of different carbon sources on water quality, microbial community and structure of biofloc systems. **Aquaculture**, 482, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.030>.

DE SCHRYVER, P., CRAB, R., DEFOIRDT, T., BOON, N., & VERSTRAETE, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, 277(3-4), 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>.

DE SOUZA, ANA LUIZA TROVO MARQUES et al. Características físico-químicas e reológicas de amido de milho (*Zea mays L.*) de pipoca crioulo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e402101321394-e402101321394, 2021.

DOS SANTOS, D. K. M., KOJIMA, J. T., SANTANA, T. M., DE CASTRO, D. P., SERRA, P. T., DANTAS, N. S. M., ... & GONÇALVES, L. U. (2021). Farming tambaqui (*Colossoma macropomum*) in static clear water versus a biofloc system with or without *Bacillus subtilis* supplementation. **Aquaculture International**, 29(1), 207-218. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00618-w>.

DOS SANTOS, R. B., IZEL-SILVA, J., FUGIMURA, M. M. S., SUITA, S. M., ONO, E. A., & AFFONSO, E. G. (2021). Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities. **Aquaculture Research**, 52(8), 3549-3559. <https://doi.org/10.1111/are.15196>.

EMERENCIANO, M., BALLESTER, E. L., CAVALLI, R. O., & WASIELESKY, W. (2011). Effect of biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. **Aquaculture International**, 19(5), 891-901. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9408-6>.

EMERENCIANO, M., GAXIOLA, G., & CUZON, G. (2013). Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. **Biomass now-cultivation and utilization**, 301-328. <https://doi.org/10.5772/53902>.

EMERENCIANO, M., CUZON, G., ARÉVALO, M., & GAXIOLA, G. (2014). Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. **Aquaculture research**, 45(10), 1713-1726. <https://doi.org/10.1111/are.12117>.

FLORINDO, L. H., LEITE, C. A., KALININ, A. L., REID, S. G., MILSOM, W. K., & RANTIN, F. T. (2006). The role of branchial and orobranchial O₂ chemoreceptors in the control of aquatic surface respiration in the neotropical fish tambaqui (*Colossoma*

macropomum): progressive responses to prolonged hypoxia. **Journal of experimental biology**, 209(9), 1709-1715. <https://doi.org/10.1242/jeb.02199>

FREITAS et al. A rheological description of mixtures of a galactoxiloglucan with high amylose and waxy corn starches. *Carbohydrate polymers*, v. 51, p. 25-32, 2003.

FUGIMURA M. M. S., HELAINE D. R. F., DE MELO E. P., DA COSTA T. V., WASIELESKY W., AND OSHIRO L. M. Y. (2015) Brewery residues as source of organic carbon in *Litopenaeus schmitti* white shrimp farms with bft systems. **Aquaculture International**, 23(2), 509–522. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9832-0>.

GARCÍA-RÍOS L., MIRANDA-BAEZA A., COELHO-EMERENCIANO M. G., HUERTA-RABAGO J. A., AND OSUNA-AMARILLAS P. (2019) Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: emphasis on commercial applications. **Aquaculture**, 502, 26–3. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.057>.

HARGREAVES, J. A. (2013). Biofloc production systems for aquaculture (Vol. 4503, pp. 1-11). Stoneville, MS: **Southern Regional Aquaculture Center**.

HOSAIN, M. E., AMIN, S. N., ARSHAD, A., KAMARUDIN, M. S., & KARIM, M. (2021) Effects of carbon sources on the culture of giant river prawn in biofloc system during nursery phase. **Aquaculture Reports**, 19, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100607>.

IBGE. **Produção da pecuária municipal**. v. 44, p. 1–51, 2013.

KHANJANI, M. H., SAJJADI, M. M., ALIZADEH, M., & SOURINEJAD, I. (2017). Nursery performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultivated in a biofloc system: the effect of adding different carbon sources. **Aquaculture Research**, 48(4), 1491-1501. <https://doi.org/10.1111/are.12985>

KHANJANI M. H., & SHARIFINIA M. (2020) Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. **Reviews in Aquaculture**, 12(3), 1836-1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>.

KUBITZA, F. (2004). **Reprodução, larvicultura, e produção de alevinos de peixes nativos.**

1ª. Edição, Jundiaí-SP: Aqua Supre Com. Suprim. Aquicultura Ltda.

KUMAR, S., ANAND, P. S. S., DE, D., DEO, A. D., GHOSHAL, T. K., SUNDARAY, J. K., & LALITHA, N. (2017) Effects of biofloc under different carbon sources and protein levels on water quality, growth performance and immune responses in black tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1978). **Aquaculture Research**, 48(3), 1168-1182.

<https://doi.org/10.1111/are.12958>.

LOBO, F. P., CINTRA, L. C., VARELA, E. S., ALVES, A. L., VILLELA, L. C. V., DA SILVA, N. M. A., ... & CAETANO, A. R. (2015). de novo genome assembly of the South American freshwater fish Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: PLANT & ANIMAL GENOME CONFERENCE, 23., 2015, San Diego, CA. [Abstracts...]. San Diego:[sn], 2015. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1013201>

LOPERA-BARRERO, N. M., DEL PILAR RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, M., FORNARI, D. C., DE RESENDE, E. K., POVEDA-PARRA, A. R., BRACCINI, G., ... & RIBEIRO, R. P. (2015). Genetic variability of broodstocks of Tambaqui (Teleostei–Characidae) from the northeast region of Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(6), 4013-4021. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n6p4013

LUO G. Z., ZHANG, N., CAI, S. L., TAN, H. X., & LIU, Z. F. (2017) Nitrogen dynamics, bacterial community composition and biofloc quality in biofloc-based systems cultured *Oreochromis niloticus* with poly- β -hydroxybutyric and polycaprolactone as external carbohydrates. **Aquaculture**, 479, 732-741. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.017>.

LUO G., LIU Z., SHAO L., & TAN H. (2019) Using poly- β -hydroxybutyric as an additional carbohydrate for biofloc in a shrimp *Litopenaeus vannamei* bioflocs nursery system with brackish water. **Aquaculture**, 506, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.021>.

MABROKE, R. S. (2018). Complexity of carbon sources and the impact on biofloc integrity and quality in tilapia (*Oreochromis niloticus*) tanks. *AAFL Bioflux*, 11(3).

MANSOUR A. T., & ESTEBAN M. A. (2017) Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology**, 64, 202–209.

<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>.

MARTÍNEZ-CORDOVA L. R., EMERENCIANO M., MIRANDA-BAEZA A., & MARTÍNEZ-PORCHAS M. (2015) Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. **Reviews in Aquaculture**, 7(2), 131–148.

<https://doi.org/10.1111/raq.12058>.

NUNES, J. D. R. D. S., LIU, S., PÉRTILLE, F., PERAZZA, C. A., VILLELA, P. M. S., DE ALMEIDA-VAL, V. M. F., ... & COUTINHO, L. L. (2017). Large-scale SNP discovery and construction of a high-density genetic map of *Colossoma macropomum* through genotyping-by-sequencing. **Scientific Reports**, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/srep46112>

PANIAGUA-MICHEL, J. (2017). Wastewater treatment using phototrophic–heterotrophic biofilms and microbial mats. In **Prospects and Challenges in Algal Biotechnology**. (pp. 257-275). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1950-0_9.

PANIGRAHI A., SUNDARAM M., SARANYA C., SWAIN S., DASH R. R., & DAYAL J. S. (2019) Carbohydrate sources differentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. **Fish & Shellfish Immunology**, 86, 1207–1216. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.040>.

PEIXEBR. Anuário 2020 PeixeBr da Piscicultura. **Associação Brasileira de Piscicultura**, p. 11-36, 2020

PRADO-LIMA, M., & VAL, A. L. (2016). Transcriptomic characterization of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) exposed to three climate change scenarios. **PLoS One**, 11(3), e0152366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152366>.

RAJKUMAR M., PANDEY P. K., ARAVIND R., VENNILA A., BHARTI V., & PURUSHOTHAMAN C. S. (2016) Effect of different biofloc system on water quality, biofloc

composition and growth performance in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). **Aquaculture Research**, 47(11), 3432–3444. <https://doi.org/10.1111/are.12792>.

REIS, R. E., ALBERT, J. S., DI DARIO, F., MINCARONE, M. M., PETRY, P., & ROCHA, L. A. (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of fish biology**, 89(1), 12-47. <https://doi.org/10.1111/jfb.13016>.

ROBERTSON, L. M., VAL, A. L., ALMEIDA-VAL, V. F., & WOOD, C. M. (2015). Ionoregulatory aspects of the osmorepiratory compromise during acute environmental hypoxia in 12 tropical and temperate teleosts. **Physiological and Biochemical Zoology**, 88(4), 357-370. <https://doi.org/10.1086/681265>

ROMANO, N., DAUDA, A. B., IKHSAN, N., KARIM, M., & KAMARUDIN, M. S. (2018) Fermenting rice bran as a carbon source for biofloc technology improved the water quality, growth, feeding efficiencies, and biochemical composition of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles. **Aquaculture research**, 49(12), 3691-3701. <https://doi.org/10.1111/are.13837>.

SAMOCHA T. M., PATNAIK S., SPEED M., ALI A.-M., BURGERJ.M., ALMEIDA R.V., AYUB Z., HARISANTO M., HOROWITZ A., & BROCK D. L. (2007) Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Engineering**, 36(2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.10.004>.

SAINT-PAUL, U. (1984). Physiological adaptation to hypoxia of a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum*, Serrasalminidae. **Environmental biology of fishes**, 11(1), 53-62. <https://doi.org/10.1007/BF00001845>.

SERRA F. P., GAONA C. A., FURTADO P. S., POERSCH L. H., & WASIELESKY W. (2015) Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture International**, 23(6), 1325–1339. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>.

SUITA, S. M., BALLESTER, E. L., ABREU, P. C., & WASIELESKY JR, W. (2015) Dextrose as carbon source in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a zero-exchange system. **Latin American Journal of Aquatic Research**, 43(3), 526-533.

<https://doi.org/10.3856/vol43-issue3-fulltext-13>.

VAL AL, ALMEIDA-VAL VMF (1995) Fishes of the Amazon and their environment. **Physiological and biochemical features**. Springer, Berlin.

VAL, A. L., GONZALEZ, R. J., WOOD, C. M., WILSON, R. W., PATRICK, M. L., BERGMAN, H. L., & NARAHARA, A. (1998a). Effects of water pH and calcium concentration on ion balance in fish of the Rio Negro, Amazon. **Physiological Zoology**, 71(1), 15-22. <https://doi.org/10.1086/515893>

VAL, A. L., WOOD, C. M., WILSON, R. W., GONZALEZ, R. J., PATRICK, M. L., BERGMAN, H. L., & NARAHARA, A. (1998b). Responses of an Amazonian teleost, the tambaqui (*Colossoma macropomum*), to low pH in extremely soft water. **Physiological zoology**, 71(6), 658-670. <https://doi.org/10.1086/515977>

VARGAS-ALBORES F., MARTÍNEZ-CORDOVA L. R., GOLLAS-GALVAN T., GARI-BAY-VALDEZ E., EMERENCIANO M. G. C., LAGO-LESTON A., & MARTÍNEZ-PORCHAS, M (2019) Inferring the functional properties of bacterial communities in shrimp-culture bioflocs produced with amaranth and wheat seeds as fouler promoters. **Aquaculture**, 500, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.005>.

XIAO, L. P., SUN, Z. J., SHI, Z. J., XU, F., & SUN, R. C. (2011). Impact of hot compressed water pretreatment on the structural changes of woody biomass for bioethanol production. **BioResources**, 6(2), 1576-1598.

ZANIBONI FILHO, E., & WEINGARTNER, M. (2007). Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, 31(3), 367-373.

Zobel, H. F., & Stephen, A. M. (1995). Starch: structure, analysis, and application. **Food Science And Technology**-New York-Marcel Dekker-, 19-19.

WANG, C., PAN, L., ZHANG, K., XU, W., ZHAO, D., & MEI, L. (2016). Effects of different carbon sources addition on nutrition composition and extracellular enzymes activity of bioflocs, and digestive enzymes activity and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in zero-exchange culture tanks. **Aquaculture research**, 47(10), 3307-3318. <https://doi.org/10.1111/are.12784>.

WEI Y., WANG A., & LIAO S. (2020) Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex situ biofloc formation. **Aquaculture**, 515: 734492. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734492>.

WILSON, R. W., WOOD, C. M., GONZALEZ, R. J., PATRICK, M. L., BERGMAN, H. L., NARAHARA, A., & VAL, A. L. (1999). Ion and acid-base balance in three species of Amazonian fish during gradual acidification of extremely soft water. **Physiological and Biochemical Zoology**, 72(3), 277-285. <https://doi.org/10.1086/316672>

WOOD, C. M., GONZALEZ, R. J., FERREIRA, M. S., BRAZ-MOTA, S., & VAL, A. L. (2018). The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0. **Journal of Comparative Physiology B**, 188(3), 393-408. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1137-y>.

5. MANUSCRITO

A formatação do manuscrito foi baseada na revista AQUACULTURE

Adição de diferentes fontes de carbono em sistema de bioflocos no cultivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

Resumo

Embora alguns estudos retratem a produção do tambaqui no BFT, é importante que entendamos como fontes de carbono, ou quais fontes podem trazer benefícios à produção. Desta maneira o objetivo do trabalho foi avaliar como as diferentes fontes de carbono podem influenciar o desempenho e qualidade de água na produção de juvenis de tambaqui *C. macropomum*. O delineamento experimental foi baseado em dois tipos de sistemas: BFT e de recirculação de água (RAS) em água clara (AC). Nos sistemas de BFT foram utilizadas três diferentes fontes de carbono como tratamento, em quadruplicata: Farelo de trigo (25%) + Açúcar cristal (75%), Amido e Açúcar cristal. Os parâmetros de qualidade de água como o OD (mg/L), temperatura (°C), TAN (mg/L), NNO₂- (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO₃/L) e SS (mL/L) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), exceto o SST (mg/L). Os dados mostram diferenças estatísticas no desempenho zootécnico dos *C. macropomum* na fase de alevinagem para peso final, comprimento, biomassa e GP ($p < 0,05$). As fontes de carboidratos interferem no desempenho zootécnico dos juvenis de *C. macropomum*, sendo a recomendada o açúcar para essa fase, de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pois proporcionou assim como o sistema de água clara, os melhores resultados em relação ao peso final, ganho de peso e biomassa.

Palavras chaves: BFT, espécie reofílicas, sistema de cultivo, desempenho zootécnico e qualidade de água.

Abstract

Although some studies portray tambaqui production in the BFT, it is important that we understand how carbon sources are, or which sources can bring benefits to production. Thus, the objective of this work was to evaluate how different carbon sources can influence the performance and water quality in the production of *C. macropomum* tambaqui fingerlings. The experimental design was based on two types of systems: BFT and water recirculation (RAS) in clear water (AC). In the BFT systems, three different carbon sources were used as treatment, in

quadruplicate: Wheat bran (25%) + Crystal sugar (75%), Starch and Crystal sugar. Water quality parameters such as OD (mg/L), temperature (°C), TAN (mg/L), N-NO₂- (mg/L), pH, alkalinity (mg CaCO₃/L) and SS (ml/L) showed significant differences between treatments ($p < 0.05$), except for SST (ml/L). The data show statistical differences in the zootechnical performance of *C. macropomum* in the nursery stage for final weight, length, biomass and GP ($p < 0.05$). Carbohydrate sources interfere in the zootechnical performance of *C. macropomum* fingerlings, and crystal sugar is recommended for this phase, according to the results obtained in this study, as it provided, as well as the system, of clear water, the best results in relation to final weight, weight gain and biomass.

Keywords: BFT, rheophilic species, cultivation system, zootechnical performance and water quality.

Introdução

A preocupação com o meio tem estimulado a busca por sistemas ambientalmente mais amigáveis, capazes de utilizar o mínimo dos recursos hídricos como forma de mitigar os impactos da atividade (Colt et al., 2006). Dentre esses sistemas podemos citar a tecnologia de bioflocos (BFT) que possui como característica a ciclagem de nutrientes, sobretudo no controle dos compostos nitrogenados. A inclusão de fontes de carbono no sistema reduz a necessidade de trocas contínuas de água durante o ciclo de produção. O carbono juntamente com o nitrogênio são os principais responsáveis por promoverem o desenvolvimento de agregados/bioflocos. A fonte de carbono, assim como suas quantidades podem promover alterações no sistema, resultando em melhora no desempenho peixes e camarões (Avnimelech, 1999; Samocha et al., 2007; Avnimelech, 2009).

O tambaqui *Colossoma macropomum* é uma espécie migradora das bacias dos rios Amazonas e Orinoco (Brian et al., 2004) que possui hábito alimentar variado, tendo preferência por frutos e sementes nos períodos das cheias dos rios, e planctônicos nos períodos de secas, caracterizando-o como onívoro-oportunista (Goulding & Carvalho, 1982). Em cativeiro apresenta rápido ganho de peso (Ruffino & Isaac, 2000), e sua produção se caracteriza em sistema de viveiros (IBGE, 2021; Morais & O'Sullivan, 2017; Woynarovich e Anrooy, 2019). Além do Brasil a espécie é produzida na Colômbia e em países Asiáticos (Woynarovich & Anrooy, 2019), sendo uma espécie consolidada para a aquicultura (De Carvalho Gomes et al., 2010).

Embora alguns estudos retratem a produção do tambaqui no BFT (Santos et al., 2021) é importante que entendamos como fontes de carbono, ou quais fontes podem trazer benefícios à produção. Desta maneira o objetivo do trabalho foi avaliar como as diferentes fontes de carbono podem influenciar o desempenho e qualidade de água na produção de juvenis de tambaqui *C. macropomum*.

Material e Métodos

Condições experimentais

O experimento foi desenvolvido na Laboratório de Aquicultura da Universidade Federal de Minas Gerais - Brasil durante 85 dias seguindo o protocolo aprovado pelo comitê de ética de uso animal em experimentação UFMG (CEUA protocolo /2022).

Sistema de bioflocos e da água clara

O delineamento experimental foi baseado em dois tipos de sistemas: BFT e de recirculação de água (RAS) em água clara (AC). Nos sistemas de BFT foram utilizadas três diferentes fontes de carbono como tratamento, em quadruplicata: Farelo de trigo (25%) + Açúcar cristal (75%), Amido e Açúcar cristal. Todos os tratamentos passaram por maturação, sendo o BFT maturado com adição das respectivas fontes testadas, e presença de tilápias alimentadas com dieta comercial (35% de proteína bruta) duas vezes ao dia (34,6g/trato) nos macrocosmos, e o RAS por meio da adição de cloreto de amônio no biofiltro (Daniels et al., 1992). A fonte de carbono foi adicionada numa relação de 15:1 (C:N), e posteriormente, com a formação do bioflocos, na proporção de 6:1 (C:N) (Avnimelech, 2009). O biofiltro foi constituído por mídias para fixação das bactérias nitrificantes e um filtro mecânico de perlon. Os sistemas de BFT e água clara foram considerados maturo quando o nitrito atingiu o nível seguro para peixes ($< 0,5$ mg/L), em 50 dias. Os tanques do BFT foram dispostos em modelo de microcosmos - macrocosmo (Wasielesky et al., 2006), sendo os tanques macrocosmos de volume útil 230 L enquanto os tanques microcosmos o volume útil de 80 L. O macrocosmo do sistema BFT foi utilizado para homogeneização da água e possuía uma bomba submersa de 2.000L/h para distribuição de água nos tanques microcosmos que por sua vez retornava ao macrocosmo por gravidade. Todos os tanques foram equipados com mangueira porosa interligados a um compressor radial (2CV) para aeração e movimentação da água nos tanques.

Estocagem e manejo

Os juvenis de *C. macropomum* ($n= 640$, $1,81\text{g} \pm 0,42$; $4,72\text{ cm} \pm 0,35$) adquiridos do laboratório de Larvicultura no LAQUA da UFMG, foram distribuídos nos 16 tanques microcosmos ($n=40$ por tanque), durante 35 dias. Os juvenis foram alimentados cinco vezes ao dia (8h, 10h, 12h 14h e 16h) com dieta comercial (45% de proteína bruta), e o ajuste da alimentação foi realizado a cada biometria em 4% da biomassa. O fotoperíodo foi mantido em 14h claro:10h escuro.

Qualidade de água

Durante o período experimental foram mensurados diariamente a temperatura da água, oxigênio dissolvido (OD) por meio de multiparâmetro (modelo 550A YSI - USA), pH (pHmetro modelo e marca), sólidos sedimentáveis (SS) com cone Imhoff (decantação por 15 min. Avnimelech, 2012), quando os sólidos sedimentáveis excederam 20ml/L foi realizado o processo de clarificação (Gaona et al., 2016). A salinidade, análises de amônia total (TAN) (Unesco,

1983), nitrito (N-NO₂⁻) (Aminot e Chaussepied, 1983) foram mensuradas três vezes na semana. A alcalinidade (Alpha, 2012) foi feita duas vezes na semana e a correção foi feita com bicarbonato de sódio (NaHCO₃) quando os valores < 30 mg CaCO₃/L. O nitrato (NNO₃⁻) foi mensurado a cada 30 dias (Monteiro et al., 2003), assim como as análises dos sólidos suspensos totais (SST) (Eaton et al., 1995).

Desempenho zootécnico

Todos os juvenis de tambaqui *C. macropomum* foram pesados em balança de precisão (0,01g, AD5002 Marte) e medidos com ictiômetro. As morfometrias aconteceram semanalmente, bem como a contagem total de juvenis para ajuste de alimentação. A avaliação do desempenho zootécnico foi realizada de acordo com as seguintes fórmulas:

a - Ganho de peso (g) = peso final – peso inicial

b- Taxa de Conversão Alimentar (TCA) = ração consumida/ ganho de peso

c- Taxa de Crescimento Específico (TCE) (%) = [(ln peso final – ln peso inicial) / tempo] x 100

d - Biomassa (g) = Número total de peixes x peso final

e - Consumo de ração (g) = peso da ração ofertada – peso da ração não consumida

f - Produção (kg/m³) = biomassa/volume do tanque em m³

g - Sobrevivência (%) = (número de peixes ao final do experimento/número de peixes inicial) x 100

Análise estatística

Após teste de normalidade e homoscedasticidade, os dados do desempenho zootécnico foram submetidos a análise de variância ANOVA, seguidos pelo teste de Tukey. Os parâmetros de qualidade de água foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal Wallis. Todas as análises com 5% de significância.

Resultados

Qualidade da água

Os parâmetros de qualidade de água temperatura, TAN (mg/L), NNO₂⁻ (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO₃/L) e SS (ml/L) (Tabela 1) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (p < 0,05). Embora a temperatura apresentasse diferença, a média entre os tratamentos foi de 27,41 °C com variação pequena de 0,33 °C. As concentrações de TAN e

NNO₃⁻ foram significativamente menores ($p < 0,05$) no em RAS em relação aos tratamentos em BFT. Por outro lado, o pH e alcalinidade foram maiores ($p < 0,05$) em RAS quando comparados aos tratamentos BFT. SS e SST não apresentaram diferenças entre os tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 2: Parâmetros de qualidade de água (TAN - mg/L, NNO₂⁻ mg/L, pH, alcalinidade mg CaCO₃/L, SST mL/L e SS mL/L) em sistema de bioflocos com diferentes fontes de carbono: Farelo de trigo + Açúcar, Amido, Açúcar e sistema água clara RAS, na produção de *Colossoma macropomum* em fase de alevinagem.

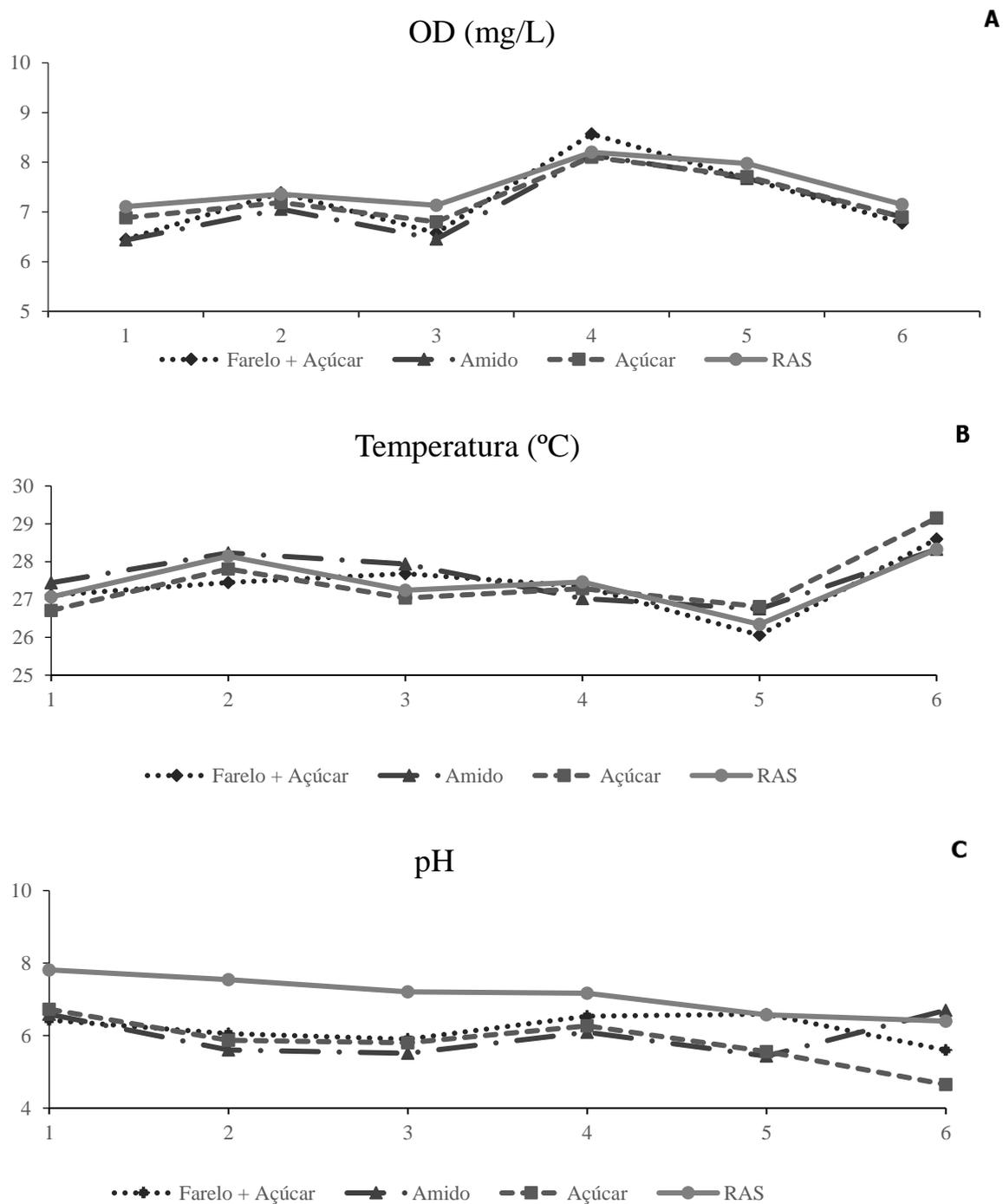
	Tratamentos			
	Farelo + Açúcar	Amido	Açúcar	RAS
TAN (mg/L)	0,78±1,06 ^a	0,84±0,86 ^a	1,01±1,08 ^a	0,06±0,1 ^b
NNO ₂ ⁻ (mg/L)	0,27±0,3 ^b	0,30±0,56 ^a	0,31±0,42 ^a	0,13±0,13 ^c
pH	6,33±0,45 ^b	5,91±0,57 ^c	6,04±0,55 ^c	7,28±0,46 ^a
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	34,82±11,9 ^b	33,21±12,34 ^b	32,41±11,72 ^b	61,46±21,14 ^a
SST (mg/L)	273,00±144,81 ^a	328,60±160,88 ^a	287,00±147,75 ^a	39,20±26,1 ^a
SS (mL/L)	19,94±9,25 ^{ab}	17,34±10,53 ^b	19,07±9,72 ^a	-

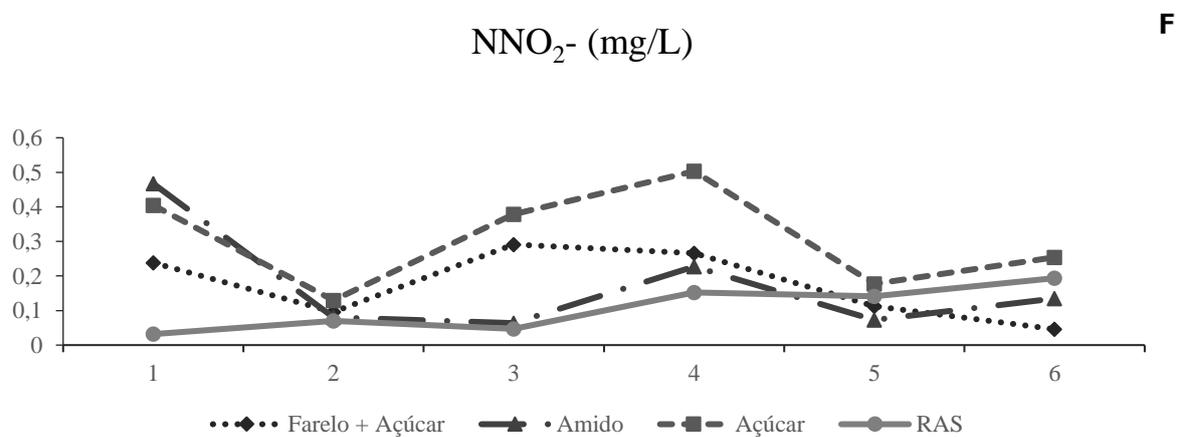
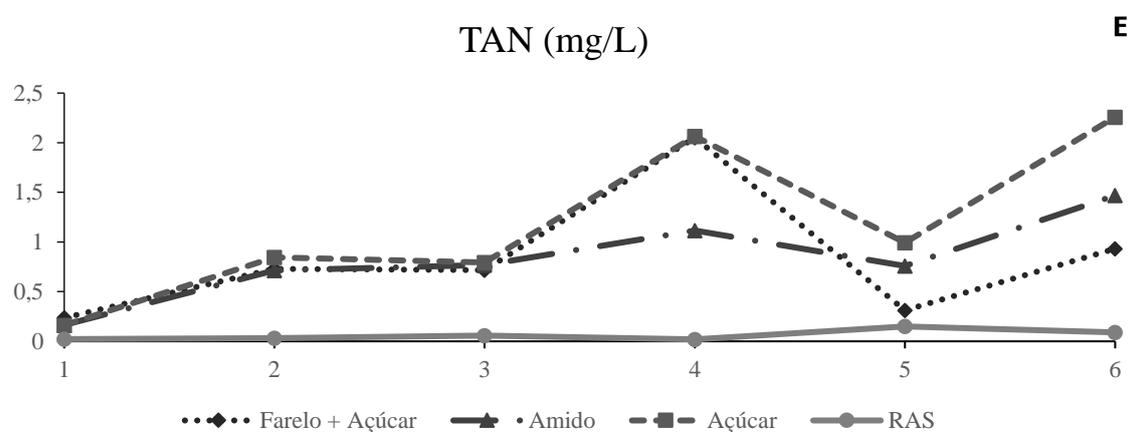
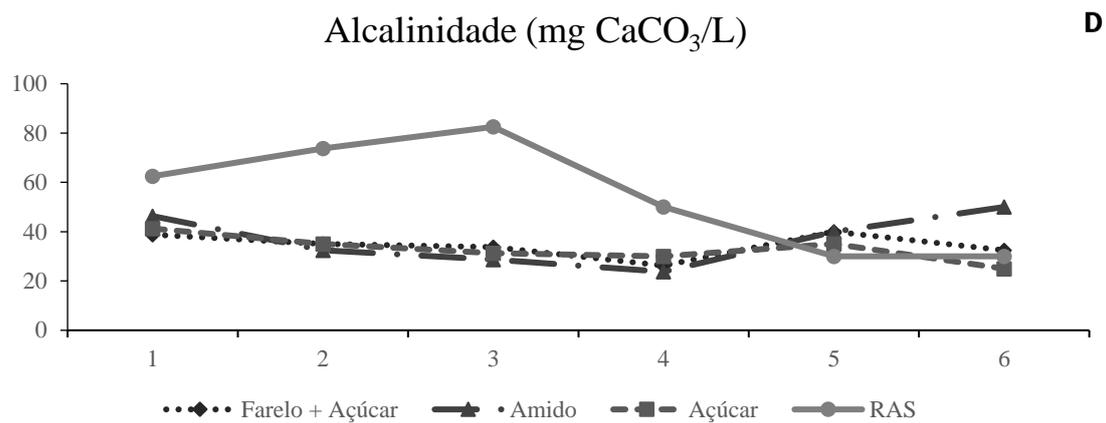
Letras diferentes na mesma linha representam diferença estatística ($p < 0,05$) por teste não-paramétrico Kruskal-Wallis.

Na figura 3 são apresentados os dados de qualidade de água ao longo do período experimental. Na fig. 3A, do OD, as curvas de todos os tratamentos são semelhantes, com variação na concentração entre $7,03 \pm 1,33$ a $7,25 \pm 1,11$ mg/L. A temperatura nos tratamentos BFT e RAS variam de $27,18 \pm 0,88$ a $27,51 \pm 0,99$ °C (Fig. 3B). O pH foi menor que 8 durante todo período experimental para todos os tratamentos (fig. 3C). Em relação a alcalinidade no tratamento RAS na semana 3 houve um aumento da alcalinidade devido a adição de carbonato para correção da alcalinidade. TAN (fig. 3E) manteve-se mais estável no RAS, em relação aos tratamentos BFT. Os tratamentos BFT apresentaram aumento na semana 4 e 6, com pico em 2 mg/L no tratamento açúcar. Nitrito (fig. 3F) apesar da variação ao longo do experimento, em todos os tratamentos, todos foram $< 0,5$ mg/L.

Verifica -se que o SS (fig. 3G) é > 20 mL/L a partir da semana 2 para os tratamentos farelo + açúcar e açúcar, com necessidade de clarificação, os demais tratamentos as clarificações também foram aplicadas, porém a partir da semana 3. Baseado no SS, no tratamento açúcar foram

realizadas n=9 clarificações, farelo + açúcar n = 4 clarificações, amido n=3 clarificações. Para SST (fig. 3H) é possível verificar aumento na semana 3 em todos os tratamentos.





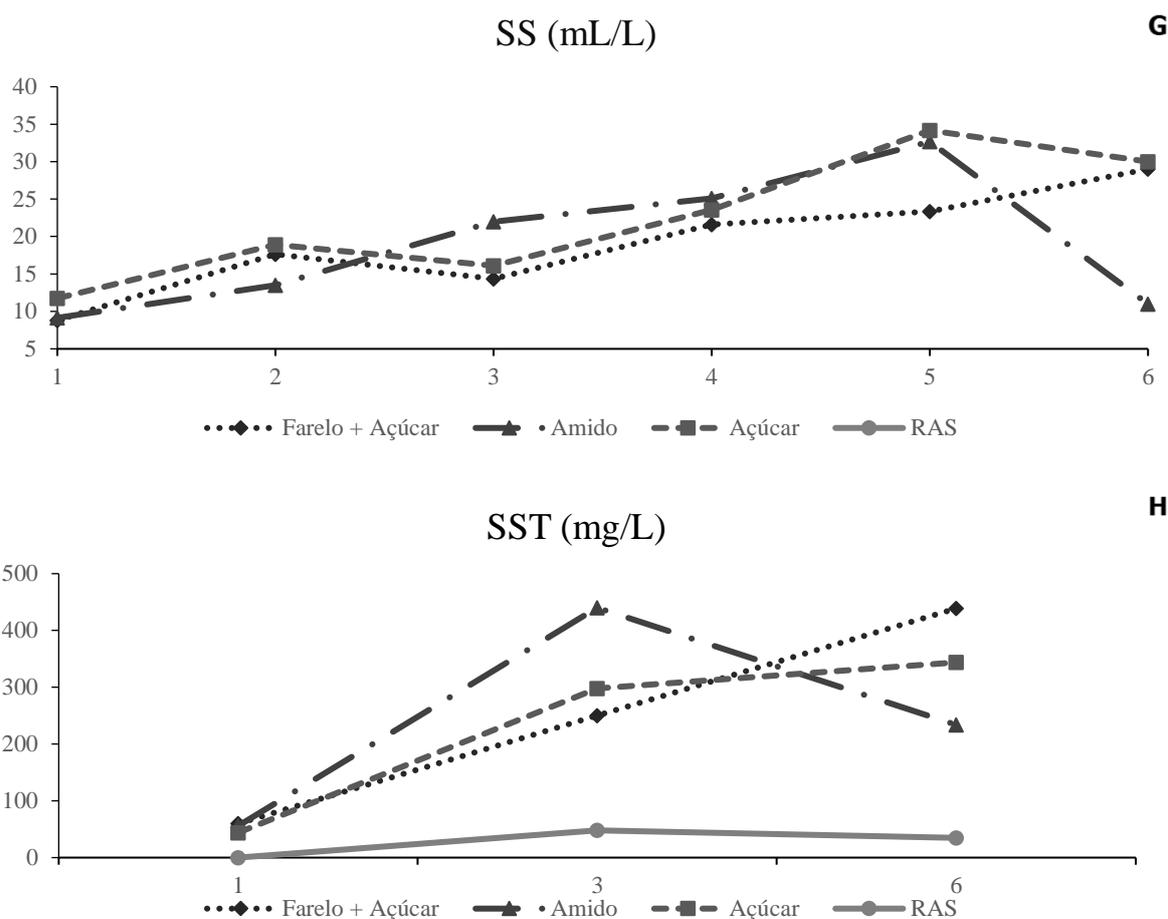


Figura 3: Curvas dos parâmetros de qualidade de água (oxigênio dissolvido, temperatura, TAN (mg/L), NNO_2^- (mg/L), pH, alcalinidade (mg CaCO_3/L), SST (mg/L) e SS (mL/L), ao longo das semanas no período experimental, em sistema de bioflocos com diferentes fontes de carbono: Farelo de trigo + Açúcar, Amido, Açúcar e sistema água clara RAS, na produção de *Colossoma macropomum* em fase de alevinagem

Desempenho Zootécnico

Os dados da Tabela 3 de desempenho zootécnico mostram diferenças estatísticas no dos *C. macropomum* para peso final, comprimento total, biomassa e GP ($p < 0,05$). Os maiores pesos ($p < 0,05$) foram encontrados nos tratamentos RAS e açúcar em relação aos demais tratamentos consequentemente maiores ($p < 0,05$) foram as biomassas nesses tratamentos. O mesmo aconteceu com o GP, com maiores valores para açúcar e RAS ($p < 0,05$). Tanto RAS como BFT não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) para TCE, consumo aparente, TCA e sobrevivência.

Tabela 3: Desempenho zootécnico de *Colossoma macropomum* na fase de alevinagem em sistema de bioflocos utilizando diferentes fontes de carbono e em sistema de recirculação.

	Tratamento			
	Farelo + Açúcar	Amido	Açúcar	RAS
Peso inicial (g)	1,70±0,28 ^a	1,70±0,24 ^a	1,810±0,41 ^a	2,04±0,70 ^a
Peso final (g)	8,17±0,86 ^b	7,97±0,52 ^b	10,38±1,52 ^a	10,53±0,50 ^a
Comprimento total (cm)	7,61±0,33 ^c	8,17±0,09 ^{ab}	7,91±0,36 ^{bc}	8,58±0,11 ^a
Biomassa (g)	326,80±34,53 ^b	297,20±27,56 ^b	359,80±29,59 ^{ab}	413,68±28,11 ^a
Ganho de peso (g)	6,47±0,61 ^b	6,28±0,71 ^b	8,57±1,32 ^a	8,49±0,94 ^a
TCE (%)	4,50±0,21 ^a	4,44±0,53 ^a	5,01±0,50 ^a	4,80±0,94 ^a
Consumo (g)	267±55,79 ^a	286,14±50,21 ^a	301,46±27,59 ^a	336,76±14,79 ^a
CAA	1,03±0,14 ^a	1,25±0,17 ^a	1,05±0,08 ^a	1,03±0,15 ^a
Sobrevivência (%)	100 ^a	93,75±12,5 ^a	87,50±8,90 ^a	98,13±2,39 ^a

Letras diferentes na mesma linha representam diferença estatística. Teste ANOVA, *post hoc* Turkey com nível de significância 5%.

Discussão

Qualidade da água

De forma geral, a qualidade de água, independente da fonte de carbono em BFT ou no tratamento RAS manteve os parâmetros dentro do ideal para a espécie (Lima et al., 2019, do Santos et al., 2020), e serão discutidos individualmente a seguir com os destaques.

Para todos os tratamentos o OD manteve-se dentro dos valores ideais para a espécie (> 3 mg/L) (Saint-Paul, 1984; Izel-Silva et al. 2020), mesmo no sistema BFT com maior presença de microrganismos (maior atividade de respiração) foi possível manter níveis > 6 mg/L. Da mesma forma a temperatura, as pequenas variações médias (27,18 a 27,51 °C) se mantiveram dentro da faixa de crescimento para *C. macropomum* (Dos Santos, 2021).

Em sistemas fechados a presença das bactérias é tida como uma das responsáveis pelo consumo de carbonatos na água que ocasiona a redução da alcalinidade no sistema ao longo do tempo (Azim & Little, 2008). A diminuição da alcalinidade promove diminuição do efeito tampão que leva a variação de pH (Ebeling et al., 2006). Tanto em BFT quanto no RAS observa-se, ao longo do tempo, queda da alcalinidade e variação de pH, com a acidificação do sistema. Porém, os tratamentos utilizando amido e somente açúcar, como fontes de carbono, o processo de acidificação da água nesses tratamentos foi significativamente maior. Essa acidificação está

relacionada ao processo de biotransformação dos metabólitos em biomassa microbiana (Avnimelch, 2009, Ebeling et al., 2006). Apesar das variações de pH (5,4 a 8), seja em BFT ou RAS, os valores mantiveram-se dentro dos limites ideais para o *C. macropomum* é entre 3 e 8 (Aride, Roubach, & Val, 2007; Wood, Gonzalez, Ferreira, Braz-Mota & Val, 2018). Os resultados de pH e alcalinidade reforçam a necessidade de controle desses parâmetros, por meio das correções com carbonatos, ao longo da produção em sistemas fechados como indicados por Azim & Little (2008). Porém o estudo apontou o pH mais estável no RAS, variando de 7,4 a 8.

Apesar de Holanda Cavalcante et al. (2014) sugerirem para peixes níveis de alcalinidade total entre 55 e 150 mg/L de CaCO₃ não há descrição de uma faixa ideal para tambaquis. No presente estudo os menores valores de alcalinidade foram de 33 mg/L de CaCO₃. E do Santos et al. (2020) trabalhando com tambaquis em BFT apresentaram crescimento satisfatório mesmo em alcalinidade de 11-16 mg/L de CaCO₃. Os resultados de alcalinidade não afetaram o desempenho do tambaqui nem a formação do bioflocos. A redução da alcalinidade no sistema foi descrita por Azim & Little (2008) que ao comparar a alcalinidade em sistema com e sem bioflocos, obtiveram uma variação da alcalinidade, indicando que o sistema de bioflocos reduz a capacidade de tamponamento da água ao longo do tempo, o que requer constantes adições corretivas, mesma condição apresentada no presente estudo com correções ao longo do tempo.

Apesar da variação dos valores de TAN nos sistemas BFT, os resultados obtidos no presente estudo corroboram com eficiência das bactérias nitrificantes e heterotróficas nos tratamentos com BFT (Ebeling et al., 2006) em assimilar o carbono orgânico fornecido, reduzindo as concentrações em sistema fechado (Dos Santos et al., 2021) para níveis seguros. Bakhshi et al. (2018) utilizando diferentes fontes de carbono (melaço de beterraba, açúcar e farinha de milho) em BFT para carpas comum *Cyprinus carpio* também verificaram flutuação na concentração dos compostos nitrogenados, padrão descrito em outros trabalhos com BFT (Azim & Little, 2008, Zhao et al., 2012). É importante salientar que apesar da flutuação, os picos de TAN durante todo o experimento não atingiram o limite de tolerância para tambaqui (7,84 mg/L por 50h) (Souza-Bastos et al., 2017). O mesmo foi verificado em relação ao nitrito, todos os tratamentos mantiveram os níveis abaixo do crítico para a espécie ($1,82 \pm 0,98$ mg/L) (Costa et al., 2004), além da salinização da água do presente estudo que eleva o valor crítico de toxicidade pelo nitrito. Quanto aos picos observados para TAN nas semanas 4 e 6, eles coincidem com as maiores frequências de clarificação aplicados nos tratamentos devido ao acúmulo de SS (> 20 mL/L). A clarificação diminui a presença de bioflocos, reduzindo por consequência a quantidade

das bactérias responsáveis pelo processo de redução dos compostos nitrogenados, levando ao acúmulo no sistema (Gaona et al., 2016).

Os limites de tolerância ao SS e SST para o *C. macropomum* ainda não foram determinados, porém por meio de clarificação foi possível controlar esses parâmetros mantendo dentro da faixa sugerida para a tilápia (5– 50 ml/L e até 500 mg/L, respectivamente) de acordo com Avnimelech (2015) e estabelecidas na metodologia. As diferenças dos valores de SS entre os sistemas estão relacionadas as características específicas de cada fonte utilizada para obtenção do floco (Ebeling et al. 2006; Mansour & Esteban 2017) e no presente estudo o maior número de clarificações indica que os tratamentos de açúcar e farelo + açúcar produziram mais SS.

Desempenho Zootécnico

No presente estudo, o desempenho de crescimento dos tambaquis (peso final, comprimento total, biomassa e GP) foi afetado de acordo com a fonte de carbono utilizada nos sistemas BFT, com melhores resultados para uso do açúcar. Resultados de melhor desempenho atribuídos ao uso do açúcar e em sistema de água clara também foram descritos por García-Ríos et al. (2018), esses autores utilizaram diferentes fontes de carbono (açúcar, farinha de trigo, farinha de milho) e controle em água clara e obtiveram melhores desempenhos para as tilápias em BFT com uso de açúcar como fonte de carbono e em água clara, ao final do período experimental, semelhante ao presente estudo. Por outro lado, em estudo de tambaqui em BFT e em água clara, Dos Santos et al. (2020) não encontraram diferenças para o peso final entre os sistemas estudados. Nesses estudos o bom desempenho no BFT, compatível ao desempenho em água clara, pode ser destacado pela capacidade filtrante do tambaqui, assim como descrito para a carpa comum *C. carpio* (Adineh et al. 2019).

A taxa de conversão alimentar é um dos parâmetros utilizado para aferir eficiência dos peixes no aproveitamento do alimento. Bakhshi et al. (2018) utilizando diferentes fontes de carbono verificou que a taxa de conversão alimentar das carpas comum foi melhor com o uso da farinha de milho. Esses autores verificaram maiores valores de atividade de protease e amilase nos juvenis, atribuindo dessa forma a melhor conversão. No presente estudo não foram verificadas diferenças para TCA entre as fontes de carbono, nem para animais testados em RAS. Em relação a TCA e comparando a sistema BFT e de água clara Dos Santos et al. (2020) observaram que o tratamento com BFT apresentou melhor TCA quando comparado ao tratamento de água clara. Diante desses resultados é possível que a microbiota formada no bioflocos influencie no melhor aproveitamento da dieta seca (Bakhshi et al., 2018), ou que o tipo

sistema de produção também influencie (Dos Santos et al., 2020), porém no presente estudo nem as fontes de carbono, nem o tipo de sistema diferiu quanto melhor aproveitamento do alimento.

Em relação a sobrevivência elas foram consideradas altas, semelhante ao estudo de Dos Santos et al. (2020). Nossos resultados estão de acordo ainda com os estudos de Lima et al. (2019) que para tambaqui criado em RAS também obtiveram altas sobrevivências.

A relação da biomassa com o peso final e a alta sobrevivência teve como consequência esperada a maior biomassa no RAS e do BFT utilizando açúcar, que foram semelhantes. No entanto não houve diferença na biomassa entre os tratamentos BFT.

A alta taxa de sobrevivência em todos os tratamentos indica adaptabilidade do *C. macropomum* tanto em RAS quanto em BFT utilizando diferentes fontes para compor o bioflocos. Resultados semelhantes foram observados por Dos Santos et al. (2020) em RAS > 90%, Friso et al. (2020) 99% para tambaqui em gaiolas, e Dos Santos et al. (2021) > 95% de sobrevivência. Ou até mesmo com carpas em BFT utilizando diferentes fontes de carbono > 92% (Bakhshi et al., 2018).

Conclusão

As fontes de carbono influenciaram os parâmetros do desempenho zootécnico dos juvenis de *C. macropomum*. Com base nos resultados obtidos no presente estudo, a recomendação da melhor fonte de C nesta fase é o açúcar, visto que, ele proporcionou um desempenho superior de crescimento dos tambaquis em relação as demais fontes testadas e teve como resultado semelhante ao RAS. Ademais, o açúcar atuou no controle dos nitrogenados, assim como as demais fontes de carbono utilizadas. Porém, é importante ressaltar que houve uma maior necessidade de controle de SS e SST quanto ao uso do açúcar como fonte de carbono em BFT.

Agradecimentos

Esta pesquisa recebeu apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

- Adineh, H., Naderi, M., Hamidi, M. K., & Harsij, M. (2019). Biofloc technology improves growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density. **Fish & shellfish immunology**, 95, 440-448. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.10.057>
- Amanajás, R. D., Silva, J. M., & Val, A. L. (2018). Growing in the dark warmth: the case of Amazonian fish *Colossoma macropomum*. **Frontiers in Marine Science**, 5, 492. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00492>.
- Aminot, A., & Chaussepied, M. (1983). **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**.
- Aride, P. H. R., Roubach, R., & Val, A. L. (2007). Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. **Aquaculture Research**, 38(6), 588-594. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01693.x>
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, 176(3-4), 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X).
- Avnimelech, Y. (2009). Biofloc technology: a practical guide book. **World Aquaculture Society**.
- Avnimelech, Y. (2012). Biofloc Technology a practical guide book, Baton Rouge. Louisiana. **World Aquaculture Society**.
- Avnimelech, Y. (2015). Tecnologia Biofloc: Um guia prático (3ª ed., 105 pp.). **A Sociedade Mundial de Aquicultura**.
- Azim, M. E., & Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 283(1-4), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Brian, J. C., Harvey, B., Ross, C., & Baer, A. (2004). **Migratory Fishes of South America**, Migratory Fishes of South America. Ottawa.
- Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J. P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural engineering**, 34(3), 179-197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>
- Colt, J. (2006). Water quality requirements for reuse systems. **Aquacultural Engineering**, 34(3), 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.011>.
- De Carvalho Gomes, L. (2010). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Editora UFSM.
- De Holanda Cavalcante, D., Caldini, N. N., da Silva, J. L. S., dos Santos Lima, F. R., & do Carmo, M. V. (2014). Imbalances in the hardness/alkalinity ratio of water and Nile tilapia's

- growth performance. **Acta Scientiarum. Technology**, 36(1), 49-54. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i1.18995>
- Dos Santos, D. K. M., Kojima, J. T., Santana, T. M., de Castro, D. P., Serra, P. T., Dantas, N. S. M., ... & Gonçalves, L. U. (2021). Farming tambaqui (*Colossoma macropomum*) in static clear water versus a biofloc system with or without *Bacillus subtilis* supplementation. **Aquaculture International**, 29(1), 207-218. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00618-w>.
- Dos Santos, R. B., Izel-Silva, J., Fugimura, M. M. S., Suita, S. M., Ono, E. A., & Affonso, E. G. (2021). Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities. **Aquaculture Research**, 52(8), 3549-3559. <https://doi.org/10.1111/are.15196>.
- Emerenciano, M., Ballester, E. L., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2011). Effect of biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. **Aquaculture International**, 19(5), 891-901. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9408-6>.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, 257(1-4), 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>.
- Frisso, R. M., de Matos, F. T., Moro, G. V., & de Mattos, B. O. (2020). Stocking density of Amazon fish (*Colossoma macropomum*) farmed in a continental neotropical reservoir with a net cages system. **Aquaculture**, 529, 735702. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735702>
- Gaona, C. A. P., Serra, F. D. P., Furtado, P. S., Poersch, L. H., & Wasielesky, W. (2016). Biofloc management with different flow rates for solids removal in the *Litopenaeus vannamei* BFT culture system. **Aquaculture international**, 24(5), 1263-1275. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-9983-2>.
- Goulding, M., & Carvalho, M. L. (1982). Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): an important Amazonian food fish. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1, 107-133. <https://doi.org/10.1590/S0101-81751982000200001>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. **Levantamento da produção da aquicultura**. Rio de Janeiro: IBGE.

- Izel-Silva, J., Ono, E. A., de Queiroz, M. N., dos Santos, R. B., & Affonso, E. G. (2020). Aeration strategy in the intensive culture of tambaqui, *Colossoma macropomum*, in the tropics. **Aquaculture**, 529, 735644. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735644>.
- Lima, J. D. F., Montagner, D., Duarte, S. S., Yoshioka, E. T. O., Dias, M. K. R., & Tavares-Dias, M. (2019). Sistema de recirculação usando filtros biológicos aerados no cultivo de alevinos de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 54. <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00294>.
- Luo G. Z., Zhang, N., Cai, S. L., Tan, H. X., and Liu, Z. F. (2017) Nitrogen dynamics, bacterial community composition and biofloc quality in biofloc-based systems cultured *Oreochromis niloticus* with poly - β -hydroxybutyric and polycaprolactone as external carbohydrates. **Aquaculture**, 479, 732-741. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.017>.
- Mansour, A. T., & Esteban, M. Á. (2017). Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & shellfish immunology**, 64, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.025>
- Morais, I. D. S., & O'sullivan, F. D. A. (2017). Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816). <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1060929>
- Ruffino, M. L., & Isaac, V. J. (2000). Ciclo de vida e parâmetros biológicos de algumas espécies de peixes da Amazônia brasileira. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)**(Ed.). Recursos pesqueiros do médio Amazonas: biologia e estatística pesqueira. Brasília: Ibama, 12-30.
- Samocha T. M., Patnaik S., Speed M., Ali A.-M., Burger J.M., Almeida R.V., Ayub Z., Harisanto M., Horowitz A., and Brock D. L. (2007) Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Engineering**, 36(2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.10.004>.
- Saint-Paul, U. (1984). Physiological adaptation to hypoxia of a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum*, Serrasalminidae. **Environmental biology of fishes**, 11(1), 53-62. <https://doi.org/10.1007/BF00001845>.
- Souza-Bastos, L. R., Val, A. L., & Wood, C. M. (2017). Are Amazonian fish more sensitive to ammonia? Toxicity of ammonia to eleven native species. **Hydrobiologia**, 789(1), 143-155. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2623-4>.

- Wasielesky Jr, W., Atwood, H., Stokes, A., & Browdy, C. L. (2006). Effect of natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, 258 (1-4), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>.
- Wood, C. M., Gonzalez, R. J., Ferreira, M. S., Braz-Mota, S., & Val, A. L. (2018). The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0. **Journal of Comparative Physiology B**, 188(3), 393-408. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1137-y>.
- Wojnárovich, A., & Van Anrooy, R. (2019). Field guide to the culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). **Fisheries and Aquaculture Technical Paper**, (624), I-121.
- Zhao, X., Zhou, Y., Min, J., Wang, S., Shi, W., & Xing, G. (2012). Nitrogen runoff dominates water nitrogen pollution from rice-wheat rotation in the Taihu Lake region of China. **Agriculture, ecosystems & environment**, 156, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.024>.
- Zemor, J. C., Wasielesky, W., Fóes, G. K., & Poersch, L. H. (2019). The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. **Aquacultural Engineering**, 85, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.001>.