



Crescimento da curimatã comum, *Prochilodus cearaensis* (Steindachner, 1911) em sistema de recirculação de água (SRA) em três densidades de estocagem diferentes¹

Growth of the common Prochilodus cearaensis (Steindachner, 1911) in water recirculation system (SRA) in three different stocking densities¹

Maria Audália Marques de Carvalho², Raimundo Bezerra da Costa^{1,4}, Luana da Anunciação Silva², Cecília Guedes de Oliveira³, Luiz Antônio Moreira Miranda³, Lucas Paes Martins³, Ronaldo de Oliveira Sales⁴, José Oriani Farias⁴,

Resumo: Peixes Juvenis de *Prochilodus cearensis* com tamanhos iniciais diferentes (n=180), mas de mesma idade e representando três diferentes densidades de estocagem (DE): Grupo P (pequenos; DE=0,09g.L⁻¹), Grupo M (médios; DE=0,15g.L⁻¹) e Grupo G (grandes; DE=0,3g.L⁻¹) foram distribuídos em quatro tanques de 1000L em um sistema de recirculação fechado simples (SRA) com o objetivo de se investigar o crescimento em cativeiro. A Ração comercial (FreeRibe 35% PB), para peixes foi fornecida três vezes ao dia. A densidade de estocagem (DE) influenciou no crescimento dos peixes em termos de biomassa final (B), ganho de biomassa (GB) e peso médio final (PM). O grupo P com PM inicial de 1,9g e DE 0,09g.L⁻¹ através de um crescimento compensatório, atingiu uma biomassa, ganho de biomassa e peso médio final superior aos grupo M e G respectivamente. A separação dos indivíduos por peso e comprimento total sugere a possibilidade de um crescimento mais homogêneo na produção de curimatã comum, reduzindo o efeito da dominância e o crescimento heterogêneo. Embora neste módulo simples de SRA a curimatã não tenha alcançado um crescimento satisfatório, sua produção em cativeiro pode ser utilizada para alimentação de peixes de carne mais nobre e de maior valor comercial. Contudo, sugere-se que testes de stress sejam realizados para se verificar o nível de confinamento sobre o bem estar da curimatã comum em SRA, Além disso, diferentes de formulações comerciais de rações, provavelmente contendo um maior percentual de antioxidantes adaptadas ao hábito alimentar de iliófagos/detrítvoros necessitam ser testadas no intuito de se encontrar a melhor solução para o máximo crescimento de *P. cearensis* em cativeiro.

Palavras-chave: SRA; *Prochilodus cearensis*; ganho de peso; densidade estocagem

Abstract: Juvenile fish of *Prochilodus cearensis* with different initial sizes (n = 180), but of the same age and representing three different stocking densities (DE): Group P (small; DE = 0.09g.L⁻¹), Group M (medium ; DE = 0.15g.L⁻¹) and Group G (large; DE = 0.3g.L⁻¹) were distributed in four 1000L tanks in a simple closed recirculation system (RAS) in order to investigate captive growth. Commercial feed (FreeRibe 35% PB) for fish was supplied three times a day. The stocking density (DE) influenced fish growth in terms of final biomass (B), biomass gain (GB) and final average weight (PM). Group P with an initial PM of 1.9g and DE 0.09g.L⁻¹ through compensatory growth, reached biomass, biomass gain and average final weight higher than groups M and G respectively. The separation of individuals by weight and total length suggests the possibility of a more homogeneous growth in the production of common curimatã, reducing the effect of dominance and heterogeneous growth. Although in this simple SRA module, curimatã has not achieved satisfactory growth, its production in captivity can be used to feed more noble meat fish with greater commercial value. However, it is suggested that stress tests be carried out to verify the level of confinement on the well-being of common curimatã in SARS. In addition, different from commercial feed formulations, probably containing a higher percentage of antioxidants and adapted to the dietary habit of iliophages / detritivores need to be tested in order to find the best solution for the maximum growth of *P. cearensis* in captivity.

Keywords: RAS; *Prochilodus cearensis*; weight gain; stocking density

<http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20200001>

Endereço para correspondência: *E-mail: audaliacarvalho@yahoo.com.br

<http://lagepeuece.wixsite.com/geneticauece>

Recebido em 20.01.2020. Aceito em 30.03.2020

¹ Projeto proporcionado pelo CNPq, MPA, MCTI, MDA, MEC e MAPA, conforme edital 81.2013 e UECE

^{1,4} Médico Veterinário, Prof. Dr. LaGePe/FAVET, Universidade Estadual do Ceará, da disciplina genética animal.

² Engenheira de pesca Dra. em Biotecnologia, LaGePe/FAVET, Faculdade de Veterinária UECE - CE; audaliacarvalho@yahoo.com.br,

² Engenheira de Pesca, bolsista do LaGePe UECE, Faculdade de Veterinária Iluana.a.silva@gmail.com,

³ Discente bolsista do LaGePe UECE, Faculdade de Veterinária do Ceará

³ Estagiária do LaGePe/UECE, ceciliaguedes07@gmail.com

³ Estagiário do LaGePe/UECE, luiz98antonio@hotmail.com,

³ Estagiário do LaGePe/UECE, lucaspazma@hotmail.com.

⁴ Prof. Dr. DZ CCA UFC, ronaldo.sales@ufc.br

⁴ Pesquisadores da Universidade Federal do Ceará e do LaGePe/UECE

<http://lagepeuece.wixsite.com/geneticauece>

Introdução

A curimatã comum, *Prochilodus cearensis*, Steindachner, 1911 (*Prochilodus brevis*, Steindachner, 1875) é uma espécie reofílica de água doce nativa das bacias hidrográficas nordestinas, onde realiza migrações anuais durante as cheias dos rios para desovar em suas cabeceiras (NAKATANI et al., 2001; NASCIMENTO et al., 2012). É uma espécie muito apreciada pela pesca esportiva nos rios e tributários e pelo consumo de suas ovas como uma iguaria (COSTA et al. 2015; SOARES, 2016). Estudos publicados sobre o cultivo de *Prochilodus sp* em sua grande maioria investigam a reprodução e o crescimento de pós larvas de *P. lineatus* (Bernardes e Publio, 2012; Roux, et al., 2015, Santos et al., 2018), e poucos são os

estudos sobre *Prochilodus cearensis* em cativeiro (ABREU et al., 2016, ALVES et al., 2016, COSTA et al., 2014; COSTA et al., 2015; COSTA et al., 2016).

Contudo, não foram localizadas mais informações sobre técnicas de cultivo que permitam um rápido crescimento desta espécie em confinamento e nenhum estudo avaliou o crescimento de *P. cearensis*, em módulo simples de recirculação de água (SRA) fechado. Estes sistemas vêm sendo muito utilizados na atualidade por economizarem grandes volumes de água (Badiola, Mendiola & Bostock, 2012, Badiola et al., 2018) em comparação com os sistemas de cultivo em fluxo contínuo, sendo ideal para uso em pisciculturas no Nordeste do Brasil, onde a escassez de água é um dos

principais problemas limitantes da produção piscícola na região. (SILVA, 2008; SILVA et al., 2017).

Conforme Rurangwa e Verdegem, (2015), os sistemas de recirculação em aquacultura (SRA) são cada vez mais considerados como sistemas de produção do futuro com um impacto ecológico mínimo para a produção de alimentos aquáticos e vêm tornando-se uma tendência mundial para a produção de salmões (Summerfelt et al., 2015), trutas (Gregersen et al., 2019), tilapias (Zachritz et al., 2008), bagres (Dauda, 2013) e outras espécies aquáticas de alto valor comercial fora de seu ambiente natural e em regiões perto de nichos de mercado (BERGHEIM et al. 2009).

A principal vantagem dos sistemas de recirculação de água é que cerca de 90-99% da água pode ser reutilizada num sistema fechado onde a água flui através de diferentes etapas de tratamento (filtração) para ser purificada e retornar ao tanque de cultivo (MIRZOYAN et al., 2008, LIMA et al., 2015). Isso permite ao piscicultor um melhor controle da quantidade e qualidade da água, melhor gerenciamento dos resíduos e reciclagem dos nutrientes o que possibilita um aumento na densidade de estocagem em ambiente controlado e aumentos na produção piscícola (MARTINS et al., 2010, BADIOLA,

MENDIOLA & BOSTOCK, 2012, DALSGAARD et al., 2013). O controle eficiente da qualidade sanitária da água utilizando bons filtros e um manejo alimentar correto é fundamental para que os peixes possam crescer bem e permanecer saudáveis em alta densidade em SRA. Para o Nordeste do Brasil essa economia de água é fundamental de vez que a região sofre períodos constantes de escassez de água. Contudo os SRA ainda não são difundidos em todo o mundo em comparação com outros sistemas de aquicultura, devido aos altos custos operacionais e de capital, bem como a necessidade de ter pessoas qualificadas para operar o sistema (DEDIU et al., 2012).

No entanto, o conhecimento de como o ambiente SRA afeta o bem-estar e o desempenho de *P. cearensis* é limitado (Santos et al., 2018), notadamente em altas densidades de estocagem. Considerando-se a escassez de informações em relação a esta espécie, esse trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento de juvenis de *Prochilodus cearensis* em três diferentes densidades de estocagem (DE) em um módulo simples de SRA.

Material e Métodos.

Local.

O experimento foi realizado de setembro de 2017 a abril de 2018 no Laboratório de Genética e Reprodução de

peixes (LAGEPE), pertencente à Faculdade de Veterinária, da Universidade Estadual do Ceará, (UECE), localizado no município de Fortaleza, Ceará, Brasil. A pesquisa seguiu as recomendações do Comitê de Ética para o Uso de Animais da UECE (CEUA).

Animais.

Foram utilizados 180 alevinos de curimatã comum, produzidos no LAGEPE/UECE, nascidos após fertilização artificial e desova utilizando-se diferentes machos e fêmeas. Os peixes com cinco meses de idade, 2,93g de peso inicial e 6,12cm de comprimento total foram transferidos de aquários de vidro de 80litros com fundo de cimento para quatro tanques circulares de PVC de 1.000 litros. Os tanques com tampa revestida por tela preta estavam acoplados a um biofiltro de 450 litros, formando um sistema simples de recirculação de água (SRA). Três densidades de estocagem iniciais foram utilizadas por categorias de tamanho: Pequenos (P): 0,09g/l; Médios (M): 0,15g/l e Grandes (G): 0,3g/l,. Apenas os Médios tiveram uma repetição (tanques T2 e T4). Os tanques dos grupos P e G receberam 50 espécimes cada, enquanto o grupo M continha 40 exemplares em cada tanque.

Alimentação

Os animais foram alimentados três vezes ao dia, cinco dias na semana, com

ração comercial para peixes, extrusada e transformada em pó (Free Ribe 35% PB). As variáveis de peso (g), comprimento total (cm) e comprimento padrão (cm) foram obtidas após biometrias de dez alevinos por tanque.

Crescimento

Para avaliação do crescimento final os seguintes parâmetros zootécnicos foram calculados: 1) Peso médio (g) utilizando-se balança digital. Biomassa (número de indivíduos x peso médio, g). Ganho de peso (GP) = [peso médio final(g) – peso médio inicial (g)]; Ganho de biomassa (GB) = [Biomassa final(g) – Biomassa inicial (g)]; Comprimento total (cm), medida da distância desde a ponta do focinho até a extremidade maior da nadadeira caudal); Comprimento padrão (cm), (medida da distância desde a ponta do focinho até a base da nadadeira caudal), conforme BERNARDES & PUBLIO (2012).

Qualidade de água

Os parâmetros de qualidade de água foram mensurados três vezes por semana sempre em torno de 08:00 horas. Como indicadores de qualidade de água foram mensurados apenas: pH (peagâmetro digital de bancada), temperatura (sonda digital meter modelo SX751, China). Amônia total, e nitrito (NO_2^-) foram mensurados por meio de fitas teste (Speedy test) kits de análise (ALCON).

Análise estatística

Os resultados das análises zootécnicas e de qualidade de água foram ordenados em tabelas do Excel-Microsoft® (média \pm desvio padrão) e analisados de forma descritiva.

Resultados

A Tabela 1 apresenta os dados de peso médio e densidade de estocagem ao longo do período investigado. A densidade inicial de cada grupo foi estabelecida em níveis relativamente baixos ($0,09\text{g.L}^{-1}$, $0,15\text{g.L}^{-1}$ e $0,3\text{g.L}^{-1}$) a fim de se compreender melhor as mudanças no crescimento da curimatã comum em diferentes densidades num sistema de recirculação simples. Observou-se que na menor DE, o peso médio final do grupo P foi semelhante ao dos animais do grupo G

e significativamente superior ao grupo M, muito embora no grupo P os animais tenham iniciado o cultivo com um peso médio três vezes menor do que no grupo G. No grupo P a DE inicial foi 3,33 vezes menor que a DE do grupo G, demonstrando assim que nesta densidade os indivíduos menores tiveram melhor crescimento que os exemplares dos grupos M e G. Ao final do experimento as DE atingiram $0,76\text{g.L}^{-1}$ no grupo P, $0,51\text{g.L}^{-1}$ para o grupo M e $0,7\text{g.L}^{-1}$ para o grupo G. O ganho de peso final foi de 17,4g para o grupo P, 11,6g para o grupo G, e apenas 6,5g para o M. Os dias de alimentação influenciaram nos resultados de peso médio e ganho de peso, assim como na biomassa (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Peso médio mensal (g) e variação mensal na densidade [DE, (g.L^{-1})] de estocagem de juvenis de **curimatã comum, *Prochilodus cearaensis* (Steindachner, 1911)** em sistema de recirculação de água simples com DEs iniciais de $0,09\text{g.L}^{-1}$, $0,15\text{g.L}^{-1}$ e $0,3\text{g.L}^{-1}$.

Mês	P ($0,09\text{g.L}^{-1}$)		M ($0,15\text{g.L}^{-1}$)		G ($0,3\text{g.L}^{-1}$)	
	Peso (g)	DE _P (g.L^{-1})	Peso	DE _M (g.L^{-1})	Peso	DE _G (g.L^{-1})
Setembro	1,9	0,09	3,80	0,15	6	0,3
Outubro	2,7	0,10	4,30	0,17	6,6	0,26
Novembro	3,0	0,12	4,75	0,25	7,0	0,27
Dezembro	4,2	0,16	6,50	0,31	9,2	0,36
Janeiro	4,2	0,16	5,10	0,25	9,1	0,36
Fevereiro	8,0	0,32	6,85	0,42	11,5	0,30
Março	12	0,49	6,60	0,33	12,6	0,50
Abril	19,3	0,76	10,35	0,51	17,6	0,70

DE= densidade de estocagem P, _P=Pequenos, M,_M=médios, G,_G= Grandes, Biom(g) =Biomassa, onde DE=Biomassa (g)/volume (L^{-1}).

Durante o cultivo os grupos M e G apresentaram perda de peso nos meses de Janeiro, enquanto no grupo P, o ganho de

peso foi nulo. Contudo, o peso final em P foi 10,1 vezes o peso inicial, enquanto em M foi de apenas 2,7vezes e em G 2,9

vezes. Durante o cultivo foram produzidos 1.975g de peixes, sendo o ganho de biomassa final de 870g para P, 262g para M e 530g para o G, respectivamente, demonstrando que o ganho de biomassa foi maior no grupo P correspondente aos

peixes pequenos e em menor DE. A biomassa final e o peso médio final foram 960g e 19,3g para o grupo P, 414g e 10,33g para o M e 830g e 17,6g para o G, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Biomassa, ganho de biomassa e dias de alimentação para **curimatã comum**, *Prochilodus cearaensis* (Steindachner,1911) criadas em sistema de recirculação simples.

Mês	B (g)	GB (g)	B (g)	GB (g)	B (g)	GB (g)	Alimentação (dias)	Biomassa Mês/sistema (g)
2017	P		M		G			
Setembro	95		152		300		21	585
Outubro	120	25	171	19	330	30	20	613,5
Novembro	150	30	252	81	350	20	20	642
Dezembro	210	60	310	58	368	15	17	846
2018								
Janeiro	210	0	154	-44	455	87	22	787
Fevereiro	400	129	425	271	577,5	122,7	17	1045
Março	610	172	330	-95	630	52	21	1326
Abril	965	870	414	262	830	530	21	1975

P=Pequenos, M=Médios, G=Grandes, B=Biomassa, GB=Ganho de biomassa.

No início do experimento os indivíduos do grupo G foram aqueles que mais se destacaram em relação ao tamanho (cm). Porém, na menor densidade (0,09g/l¹) a biomassa final foi numericamente superior a da maior densidade (0,3g.L⁻¹; Tabela 3), sugerindo que em menor densidade os peixes de menor peso e comprimento tiveram maiores taxas de crescimento que os demais grupos.

A média de dias de alimentação por mês foi de apenas 19,55±2 dias, sendo que em dezembro de 2017 e fevereiro de 2018 houve apenas 17 dias de alimentação, perfazendo um total de 159 dias de alimentação em sete meses de cultivo.

Desse modo, o efeito da perda de peso parece estar relacionado também ao número de dias de alimentação, no entanto este problema deverá ser investigado.

Comprimento Total e comprimento padrão

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da Média \pm desvio padrão do comprimento total (CT,cm) e comprimento padrão (CP, cm) de juvenis de curimatã comum, (*P. cearenses*), em diferentes densidades de estocagem em sistema de recirculação simples.

Ao final do experimento os indivíduos do grupo P alcançaram um comprimento total (CT) de 11,56cm comparável aos animais do grupo G (11,1cm), e superior ao grupo M(9,50cm) observando-se um maior incremento em

comprimento total nos últimos três meses do cultivo (Tabela 3).

O grupo M apresentou o menor comprimento total em relação aos grupos P e G. A média de CT foi 10,72cm para o total dos peixes cultivados, contudo nove classes de CT foram observadas ao final do cultivo, com maior frequência de CT entre 10 a 12 cm. Quanto ao Comprimento padrão, o maior valor observado ao final do estudo ocorreu no grupo P(9,55 \pm 1,29cm), seguido do G(7,62 \pm 4,76cm) e do M(7,71 \pm 1,23cm). O comprimento padrão de M foi comparável ao grupo G, porém menor que no grupo P.

Tabela 3. Média \pm desvio padrão do comprimento total (CT,cm) e comprimento padrão (CP, cm) de juvenis de curimatã comum, *Prochilodus cearaensis* (Steindachner,1911) em diferentes densidades de estocagem em sistema de recirculação simples.

Mês	Pequenos (P) 0,09g.L ⁻¹		Médios (M) 0,15g.L ⁻¹		Grandes (G) 0,3. L ⁻¹	
	CT (cm)	CP (cm)	CT (cm)	CP (cm)	CT (cm)	CP (cm)
2017						
Setembro	5,43 \pm 1,09	4,41 \pm 1,21	7,12 \pm 0,34	5,63 \pm 0,25	8,23 \pm 0,83	6,54 \pm 0,46
Outubro	6,11 \pm 0,60	4,79 \pm 0,48	7,33 \pm 0,74	5,88 \pm 0,59	8,36 \pm 0,83	6,74 \pm 0,63
Novembro	6,12 \pm 0,64	4,87 \pm 0,55	7,61 \pm 0,77	6,00 \pm 0,68	8,52 \pm 0,81	6,73 \pm 0,65
Dezembro	6,56 \pm 0,68	5,33 \pm 0,59	7,45 \pm 0,80	5,98 \pm 0,70	9,10 \pm 0,60	7,51 \pm 0,72
2018						
Janeiro	7,21 \pm 0,72	5,82 \pm 0,65	7,55 \pm 0,90	6,22 \pm 0,90	8,80 \pm 1,64	7,22 \pm 1,01
Fevereiro	8,24 \pm 1,13	6,71 \pm 0,97	7,96 \pm 1,28	6,35 \pm 1,03	8,44 \pm 0,47	7,57 \pm 0,28
Março	9,77 \pm 1,83	7,93 \pm 1,44	8,36 \pm 1,14	6,66 \pm 1,02	9,85 \pm 0,87	7,99 \pm 0,79
Abril	11,56 \pm 1,57	9,55 \pm 1,29	9,50 \pm 1,44	7,71 \pm 1,23	11,1 \pm 1,62	7,62 \pm 4,76

CT=comprimento total em cm, CP=Comprimento padrão em cm.

Qualidade de água

O oxigênio dissolvido não foi analisado no período por falta de

equipamento apropriado. A temperatura atingiu a média igual a 28,04 \pm 0,61 $^{\circ}$ C, contudo sem variação significativa dentro

do período estudado e dentro dos parâmetros estabelecidos para cultivo de espécies tropicais (BOYD, 1996; NASCIMENTO & VON SPERLING, 2018). O pH na faixa mais alcalina variou desde 7,4 em setembro de 2017 a 8,7 em abril de 2018 com média igual a $7,70 \pm 0,28$, semelhante ao observado por KOBERSTEIN et al., 2001.

A amônia variou de 0,02ppm em Novembro 2017 a 0,0089ppm em janeiro 2018 a com média $0,013 \pm 0,006$ ppm, enquanto as maiores concentrações de nitrito foram observadas entre os meses de Outubro de 2017 a janeiro de 2018 com um pico em dezembro quando a temperatura variou entre $28,17^\circ\text{C}$ até

$29,1^\circ\text{C}$, e quando houve menor renovação de água e limpeza do filtro. A Transparência variou desde 63,39% até 100% correspondendo à altura total da coluna d'água (63 cm; Tabela 4). No nosso módulo simples de SRA os parâmetros de qualidade de água coletados apresentaram-se adequados quanto à qualidade da água para cultivo de peixes, com exceção apenas do nitrito que ultrapassou níveis aceitáveis nos meses de outubro, novembro e dezembro. A medida corretiva foi sempre a limpeza do filtro e dos tanques, juntamente com a troca parcial da água, para a remoção dos sólidos dissolvidos, fezes e restos de alimento (BRAGNBALLE, 2015).

Tabela 4. Média \pm desvio padrão de parâmetros de qualidade de água no cultivo de **curimatã comum**, *Prochilodus cearaensis* (Steindachner,1911) em sistema de recirculação de água simples e fechado, utilizando filtro mecânico biológico.

Mês	Temp. °C	pH 0-14	Amônia ppm	Nitrito ppm	Transparência (cm)	Transparência (%)
Set	26,9 \pm 0,50	7,40 \pm 00	0,014 \pm 0,019	0,2 \pm 0,11	ND	ND
Out	28,77 \pm 0,7	7,49 \pm 0,2	0,01 \pm 0,008	0,5 \pm 0,52	59,88 \pm 30,78	95
Nov	28,12 \pm 0,3	8,10 \pm 0,5	0,026 \pm 0,002	0,48 \pm 0,42	39,94 \pm 13,7	63,39
Dez	28,60 \pm 0,3	7,69 \pm 0,3	0,013 \pm 0,015	1,12 \pm 0,82	54,75 \pm 6,63	86,9
2019						
Jan	28,15 \pm 0,6	7,54 \pm 0,4	0,008 \pm 0,007	0,4 \pm 0,18	56,22 \pm 11,13	89,23
Fev	27,62 \pm 6,8	7,72 \pm 0,3	0,0097 \pm 0,06	0,26 \pm 0,26	63 \pm 0,0	100
Março	28,48 \pm 0,78	7,55 \pm 0,37	0,0089 \pm 0,008	0,045 \pm 0,10	63 \pm 0,0	100
Abril	27,68 \pm 0,99	8,17 \pm 0,17	0,022 \pm 0,014	0,035 \pm 0,09	63 \pm 0,0	100
Média	28,04\pm0,61	7,70\pm0,28	0,013\pm0,006	0,38\pm0,35	57,11\pm8,29	90,64\pm13,16

Temp: Temperatura; Set: Setembro; Out: Outubro; Nov: Novembro; Dez: Dezembro; Jan: Janeiro;

Fev: Fevereiro.

Discussão

A densidade de estocagem ideal é aquela que permite aumentos substanciais nas taxas de crescimento e promove a saúde e o bem-estar animal através da boa manutenção dos parâmetros zootécnicos, de produção e de qualidade de água em sistema intensivo de criação (VAN DER NIEUWEGIESSEN et al., 2008). O crescimento em sistema intensivo envolve inevitavelmente o aumento da densidade de estocagem muito mais altas do que nos habitats naturais. Isso é ainda mais válido para as densidades usadas nos sistemas de recirculação da aquicultura (SRA). Por esse motivo, toda a atenção deve ser centrada na densidade de estocagem inicial, considerada um fator-chave que pode afetar tanto o crescimento como a condição patológica dos peixes em sistemas intensivos de criação (VAN DE NIEUWEGIESSEN, 2009). Assim, a determinação do valor ótimo para esse fator é um pré-requisito para garantir a viabilidade econômica da produção de peixes.

A alta densidade de estocagem pode favorecer aumentos na produção pesqueira, mas também é um fator de stress que resulta em efeitos prejudiciais sobre o metabolismo, crescimento e desempenho (Liu et al., 2019) para várias espécies de peixes principalmente para

aquelas reofílicas como os prochilodontídeos que percorrem grandes distâncias nadando em cardumes (BRAUN et al. 2013). Desse modo, além da DE, fatores como bem-estar animal, estresse, sistema imunológico e fisiologia devem ser levados em consideração na produção pesqueira comercial (SALAS-LEITON et al. 2010).

Apesar do melhor desempenho do grupo P, os resultados deste estudo estiveram aquém de outros publicados na literatura com outras espécies de Prochilodus, em termos de peso médio e produção de biomassa. O estudo realizado por Costa et al., (2014) mostrou que em ambiente natural exemplares de curimatã comum mantidos em tanque rede cresceram mais que em tanques de cimento e aquários, alcançando peso médio superior a 140g aos dez meses de cultivo. Num experimento em viveiros de alvenaria com fundo de terra e policultivo com tilápias as curimatãs comum atingiram ao final de 147 dias de cultivo o peso médio de 32g quando alimentadas com ração contendo 32% de proteína bruta e densidade média inicial de 3,10 peixes/m³ (ABREU et al., 2016). Contudo, nesse estudo os indivíduos apresentaram um peso médio entre 10,3g e 19,3g mesmo aos dez meses de cultivo mostrando claramente o efeito do ambiente sobre o crescimento dos

indivíduos.

Convém observar que antes de serem transferidos para o SRA os indivíduos estavam alocados em aquários com fundo de cimento durante os primeiros cinco meses de vida. Os resultados obtidos por Della Rosa et al. (2014) para o cultivo de *P. lineatus* em tanques com fundo de cimento demonstraram que este tipo de fundo não permite um bom desenvolvimento como ocorre em viveiros de terra. Angeluscu e Gneri, (1949) realizando ensaios com *P. lineatus* em aquários de fundo arenoso enriquecido com plantas aquáticas observaram que os animais paulatinamente deixavam de se alimentar tomando formas de inanição. Este mesmo tipo de comportamento foi observado em nossas instalações quando da manutenção de alevinos de *P. cearensis* em aquários de vidro e fundo de cimento, constatando-se a redução no crescimento e presença de indivíduos de diferentes tamanhos com os peixes maiores apresentando a dominância no momento da alimentação.

A região pilórica do estômago de alguns prochilodontídeos é uma adaptação fisiológica dos peixes detritívoros/iliófagos à necessidade de triturar algas diatomáceas, detritos e outros organismos rígidos misturados ao lodo e ingeridos (MENIM E MIMURA, 1993).

Provavelmente a ausência de um fundo lodoso rico em matéria orgânica, detritos e algas diatomáceas contribuem para redução na eficiência alimentar, contudo isto deverá ser investigado. Além disso, o espaço reduzido e o excesso de peixes podem aumentar o nível de stress e os gastos energéticos (Yaarahmadi et al., 2016), prejudicando o crescimento. Contudo não foram localizados estudos sobre o cultivo de *Prochilodus cearensis* em altas densidades de estocagem (DE), em sistema de recirculação desde a fase de juvenil até a idade adulta e a resposta ao stress tal como a produção de cortisol, glicose e enzimas antioxidantes. O stress de longa duração provocado pela superlotação altera a fisiologia dos animais com aumento dos níveis de cortisol, lactato, e esteróides, e atraso na vitelogenese e período de desova (Heinfellner et al.2012), bem como alterações no sistema imune com redução da capacidade antioxidante e perda de energia (Yaarahmadi et al., 2016), que de outro modo influenciam no bem estar dos peixes, crescimento e reprodução.

Outro fator que afeta o crescimento dos peixes é o teor de proteína bruta na ração. Bernardes e Publio (2012) investigando o efeito do teor de proteína bruta sobre o crescimento de *Prochilodus scrofa* em densidade de 2,5peixes/m³,

obtiveram 32,09g de peso ao final de cinco meses de cultivo, quando foi fornecida ração com 36% de proteína para peixes com um peso médio inicial de 10g. Nos nosso caso os peixes mantidos em aquários pesavam apenas 3,9g antes do início do cultivo em SRA.

Santos et al., (2018) obtiveram um peso médio de 16,7g ao final de dois meses de cultivo, representado um ganho de 2,6 vezes o peso inicial, quando forneceram ração com 36% de proteína bruta nas densidades de 0,03 peixes. L⁻¹, ou 0,2g.L⁻¹.

Possíveis razões para o baixo desempenho de *Prochilodus cearensis* em SRA podem estar relacionadas ao manejo alimentar, de vez que nos finais de semana e feriados os peixes não foram alimentados, correspondendo a 91 dias sem alimentação. Outro possível erro no início do experimento pode ter sido a taxa de alimentação utilizada que foi de 2,5% do peso vivo dividida em três refeições. No entanto, esta taxa foi escolhida porque foi observado em experimento anterior que havia muita sobra de ração quando foi fornecido 5% do peso vivo. A qualidade da ração é outro fator que necessita ser investigado no caso de *Prochilodus*, buscando-se formulações mais adequadas ao tipo de regime alimentar e aparelho digestivo dos detritívoros/ilíofagos (Angeluscu e Gneri, 1949) e que

possibilitem um melhor crescimento em cativeiro.

Os resultados do nosso estudo sugerem como conclusão que os indivíduos de mesma idade, mas de tamanhos diferentes devem ser separados por peso já na fase de pós larvas para evitar dominância, competição por espaço e alimento possibilitando um crescimento mais homogêneo, porém novos estudos deverão ser realizados para confirmar esta hipótese.

A curimatã comum parece ser uma das espécies de *Prochilodus* que atinge o menor tamanho quando alcança a primeira maturação sexual, no entanto isto deverá ser investigado em cativeiro. No estudo de ABREU et al. (2016) com indivíduos mantidos em viveiros de alvenaria com fundo de terra, e alimentados com ração + adubação em sistema de policultivo com tilápias foi obtido um comprimento total final de 30 cm. No nosso estudo o comprimento total predominante esteve entre 10 a 12 cm ao final do experimento (média final 10,72cm) a partir de um CT médio inicial de 7,36cm em indivíduos com cinco meses de idade. Nascimento et al., (2012) estudando a biologia de *P. cearensis* no açude Marechal Dutra-RN observaram a predominância de indivíduos com comprimento total entre 25 e 28cm, sugerindo um desequilíbrio na população.

A curimatã tem sido utilizada mais como um peixe forrageiro para alimentar espécies carnívoras de maior valor comercial devido à lenta taxa de crescimento em cativeiro sugere até o momento da publicação deste artigo que a espécie seja não lucrativa para produção em larga escala para o consumo humano, já que o mercado consumidor prefere peixes com peso acima de 500g produzidos em curto espaço de tempo (TRYGGVASON, 2016). Contudo, técnicas mais adequadas de uso eficiente do espaço com um maior controle da qualidade de água e fornecimento de rações mais completas e adequadas à espécie, poderão torná-la apta ao cultivo intensivo e promover maiores ganhos ao produtor.

Qualidade de água

Em qualquer sistema de cultivo de animais aquáticos a qualidade de água é o fator básico para otimizar o crescimento, juntamente com um bom manejo alimentar e o uso adequado do espaço trazendo bem-estar aos animais. Por outro lado, o manejo inadequado da água, da alimentação e do espaço provoca stress nos peixes podendo afetar o desempenho reprodutivo bem como desencadear doenças e gerar altas taxas de mortalidade. Além do mais, o acúmulo de substâncias na água prejudica o desenvolvimento dos peixes, contudo, este efeito parece depender do tamanho

(fase da vida), da espécie e do tipo de substância.

Conforme Martins et al. (2010) os peixes grandes poderão apresentar um retardo no crescimento quando o ambiente encontra-se com elevado acúmulo de substâncias devido a uma maior demanda por oxigênio.

Peixes mantidos em SRA em densidades de estocagem mais elevadas implicam conseqüentemente em maiores quantidades de ração fornecida e de produção de resíduos. Esse excesso de resíduos oriundo das sobras de alimento bem como o excesso de compostos nitrogenados, exige drasticamente um maior consumo de oxigênio (TRIGGVASON et al. 2016). Além disso, a medida que os animais crescem mais ração é fornecida e mais resíduos são liberados no biofiltro afetando a qualidade de água. Assim, o uso de filtros (mecânico-biológico) é fundamental para a eliminação destes resíduos orgânicos. Porém, o bom gerenciamento dos SRA tem sido um dos principais problemas do sistema em si, pois além do manejo alimentar correto, um dimensionamento acurado do sistema e um controle rígido da qualidade dos filtros utilizados são três aspectos dos mais importantes para a manutenção da qualidade de água no cultivo de peixes em SRA e conseqüentemente do bem estar dos peixes.

Para uma boa gestão do SRA a limpeza regular dos filtros minimiza o acúmulo de resíduos através da remoção da lama e de sólidos dissolvidos, aumenta a eficiência dos filtros pela remoção de compostos nitrogenados totais conhecidos como TAN (*total amoniacal nitrogen*), e evita que parâmetros como amônia e nitritos elevem suas concentrações produzindo efeitos de stress prolongado como hiperglicemia, depleção das reservas teciduais de glicogênio, lipólise e inibição da síntese protéica, que permite o uso das reversas energéticas como uma forma adaptativa aos fatores estressantes, porém tornam-se prejudiciais ao bom desempenho produtivo dos peixes (Prosser, 1989) com redução na taxa de crescimento e no ganho de peso se o tempo do stress se prolongar (FATAAH E SAYHED, 2002; YAARAHMADI et al. 2016).

Para Eding et al., (2006) no entanto, torna-se necessário o cálculo do balanço de massas, e o conhecimento da quantidade de resíduos produzidos diariamente bem como a variação diurna na produção de TAN a fim de bem dimensionar o filtro em relação ao cultivo já que o aumento no teor de amonia e nitrito são fatores de stresse para os peixes.

Conforme LE et al. (2018) a oxidação da amonia é completamente inibida em pH5.0 enquanto a oxidação do nitrito é fortemente inibida em pH 8.5,

devendo-se portanto, considerar o efeito do pH em sistemas de recirculação por afetar diretamente o processo de nitrificação. Neste sentido, valores de pH entre 7.5 e 7.0 são ótimos para a atividade de bactérias oxidantes da amônia e bactérias oxidantes do nitrito (LE et al. 2018).

A concentração relativa de cada uma dessas formas de nitrogênio na coluna de água é principalmente uma função do pH, temperatura e salinidade (LE et al., 2018). Dauda et al., (2014) sugerem que temperatura e pH são dois parâmetros confiáveis para predições da qualidade de água quando não se dispõe de recursos financeiros para compra de equipamentos mais sofisticados para avaliação de parâmetros como nitrito e oxigênio dissolvido. Sua afirmativa foi baseada em estudos de correlações da temperatura com oxigenio dissolvido (OD), temperatura com nitrito e pH com nitrito. Os pesquisadores observaram que o OD teve uma relação significativa com a temperatura com um alto coeficiente de determinação ($R^2=0,502$).

Quando a temperatura aumenta ocorre uma redução na interface água-ar do oxigênio dissolvido. Assim quanto mais elevada a temperatura menor será o teor de oxigênio dissolvido, recomendando a leitura de temperatura e pH para uma previsão confiável. Uma maneira efetiva de se melhorar o desempenho zootécnico

dos animais em alta densidade de estocagem é a suplementação de oxigênio por meio de aeração robusta. O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais significativos em qualquer sistema de cultivo de organismos aquáticos, pois baixas concentrações de OD afetam a saúde e o crescimento dos peixes. Além disso, bactérias também necessitam de OD e se a concentração estiver baixa prejudica o processo de nitrificação. No entanto nem sempre é possível se dispor de oxímetro ou sondas para determinação do teor de OD.

Conclusões

A densidade de estocagem, assim como os dias de alimentação, influenciam nos resultados de ganho de peso, peso médio e biomassa.

Indivíduos menores e de tamanho homogêneo têm a chance de crescerem mais quando estocados em menor densidade. Assim a densidade de 0,09g.L⁻¹ para indivíduos com peso médio inicial de 1,9g aumenta o desempenho de curimatã comum em SRA. A separação dos indivíduos por peso e comprimento total sugere a possibilidade de um crescimento mais homogêneo na produção de curimatã comum, eliminando o efeito da dominância e o crescimento heterogêneo. Testes de stress associados às diferentes densidades de estocagem utilizadas deverão ser realizados para se verificar como o grau de confinamento afeta o bem-estar da

curimatã comum em SRA em alta densidade de estocagem. Além disso, novos estudos sobre o manejo alimentar com uso de formulações de rações comerciais mais adequadas às espécies detritívoras/iliófagas precisam ser elaborados e testados com o objetivo de aumentar o ganho de peso e melhorar a qualidade de água em SRA.

Agradecimentos

Agradecemos ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas-DNOCS, na pessoa do Eng. Agrônomo Marcelo Bandeira pelo fornecimento das matrizes e reprodutores, bem como pela ração oferecida.

Referências bibliográficas

1. ALVES, D.E.O.; SILVA, M.F.M.; MOLINA, W.F.; GAVILAN, S.A.; COSTA, L.; NASCIMENTO, R.S.S. **Desenvolvimento ontogenético inicial de *Prochilodus brevis* (Steindachner, 1875) (Characiformes)**. v. 6, n. 1, p. 70-75, 2016. Disponível em <http://periodicos.unifap.br/index.php/biota>
2. ABREU, K.L.; CARVALHO, M.A.M.; COSTA; R.B.; CATUNDA, A.G.V.; SALES, R.O; VELOSO-FREITAS, G. **Policultivo curimatã comum, *Prochilodus cearensis* com tilápias. Polyculture of common curimatã, *Prochilodus cearensis* with *Tilapia*.** *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal* v.10, n.3, p. 462 – 475, jul/set 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20160038>. www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/download/.../1857.

3. ANGELESCU V, GNERI F.S. Adaptaciones del aparato digestivo al régimen alimentario em algunos peces iliófagos Del Río Uruguay y Río de la Plata. *RevInstNaclnv. Cienc Nat.* 1: 161-272. 1949.
4. BADIOLA, M.; MENDIOLA, D.; BOSTOCK, J. Recirculating Aquaculture systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges. *Aqua. Eng.*,51, 26–35. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486091200060X?via%3DiHub>
5. BADIOLA, M.; BASURKO, O.C.; PIEDRAHITA, R.; P.HUNDLEY, P. D.MENDIOLA, D. Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacult. Eng.* v.81, p.57-70. 2018. <https://www-sciencedirect.ez76.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0144860917302327>
6. BERGHEIM, A., DRENGSTIG, A., ULGENENS, Y., FIVELSTAD, S.. Production of Atlantic salmon molts in Europe – Current characteristics and future trends.*Aquacult.Eng.*11 41, 46- 52.doi: 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486090900034X>
7. BERNARDES, C.L.; PÚBLIO, J.Y. **PROTEÍNA bruta no desenvolvimento de curimbas (*Prochilodus scrofa*). Crude protein in developing curimbas (*Prochilodus scrofa*).** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 1, p. 381-390, jan./mar. 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p381.
8. BRAGNBALLE, J. **A Guide to Recirculation Aquaculture.** Eurofish Publisher, 2015. 100pp. <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>
9. BRAUN, N.; DAFRE, A.L.; LIMA, R.L.; BEUX,L.F.; BROL, F.F.;NUÑER, A.P.O. Notas Científicas: Growth and stress of dourado cultivated in cages at different stocking densities. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.48, n.8, p.1145-1149, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800050>.
10. COSTA; R.B.; CARVALHO, M.A.M; ABREU, K.L.; SENA, A.M; JOSÉ ORIANI FARIAS, J.O. VIDAL, D.L; SALES, R.O.; MAGGIONI, R. Criação da curimatã comum, *Prochilodus cearaensis* Steindachner, 1911, em tanque rede. *Rev. Bras. Higi. Sanid. Anim.* v.9, n.3, p. 482-492. 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20150044> <http://www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/view/278/961>.
11. COSTA; R.B.; ABREU, K.L.; CARVALHO, M.A.M ; FARIAS, J.O. ;FREITAS, G.V.; SALES, R.O.; CATUNDA, A.G.V.; MEDEIROS, I. R.; DE SENNA, A.M. Participação do pescador(a) artesanal no policultivo da curimatã comum (*Prochilodus cearaensis*) com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. de Higi. e Sanid. Anim.* v.10, n.4 p. 556 – 571, out – dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20160047> <http://www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/view>.
12. DEDIU, L.; CRISTEA, V. & XIAOSHUAN, Z. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African J. of Biotechnol.*, v.11, n.9, 2349-2358. 2012. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/100608/89827>
13. DELLA ROSA, P.; ROUX, J.P.; Sánchez, S.; Ortiz, J.C.; Domitrovic, H.A. Productividad del sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con

diferentes tipos de fundo. **Rev. Vet** v.25, n.2: 126-130, 2014. www.vet.unne.edu.ar.

14. GALDIOLLI, E.M. et al., Substituição da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola em rações para alevinos de curimatã (*Prochilodus lineatus*). **Rev. Bras., Zootec.** v.3, n.2, p.552-559.2002. <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n2/10339.pdf>

15. GREGERSEN, K.J.J, PEDERSEN, P.B, PEDERSEN, L-F, DALSGAARD, J. Micro particles and microbial activity in Danish recirculating rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farms. **Aquacult. Eng.**, 84, 60–66,2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.12.001>.

16. GUO, H.Y.; DONG, X.Y.; ZHANG, X.M., ZHANG, P.D. & LI, W.T. Survival, growth and physiological responses of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*, Temminck & Schlegel, 1846) exposed to different dissolved oxygen concentrations and stocking densities. **J. of Appl. Ichthyol.**, 33(4), 731–739. 2017. <https://doi.org/10.1111/jai.13369>

17. HAINFELLNER, P.; SOUZA, T.G.; MOREIRA, R.G.; NAKAGHI, L.S.O.; BATLOUNI, S.R. Gonadal steroids levels and vitellogenesis in the formation of oocytes in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (*Teleostei: Characiformes*). **Neotrop. Ichthyol.**, 10(3):601-612, 2012. In: <http://www.scielo.br/pdf/ni/v10n3/aop1912>

19. KOLAREVIC, J., SELSET, R., FELIP, O., GOOD, C., SNEKVIK, K., TAKLE, H., YTTEBORG, E., BÆVER-FJORD, G., ÅSGÅRD, T., TERJESEN, B.F. Influence of long term ammonia exposure on Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) parr growth and welfare. **Aquac. Res.** v.44, p.1649–1664. 2013.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03170.x>

20. LE, T.T.H.; FETTIG, J; MEON, G. Kinetics and simulation of nitrification at various pH values of a polluted river in the tropics. **Ecohydrol. Hydrobiol.**v.19, n.1, p.54-65.2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.06.006>

21. LIMA, J. DE F., TAVARES-DIAS, M., YOSHIOKA, E.T.O., SANTOS, E.F. DOS, DUARTE, S.S., BASTOS, A.M., MONTAGNER, D. *Sistema Fechado Simples de Recirculação para Recria de Peixes ou Camarões de Água-Doce*. **EMBRAPA. Comunicado Técnico**, n.136. 2015. 8p. ISSN 1517-4077.22. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1026235/1/CPAFAP2015COMTEC136RecirculacaocamaraoV61.pdf>

22. LIU, Y.; LIU, H.; WU, W.; YIN, J.; MOU, Z. Effects of stocking density on growth performance and metabolism of juvenile Lenok (*Brachymystax lenok*) . **Aquaculture**, v. 504, p. 107-113. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.058>

23. MARTINS, C.I.M.; EDINGA, E.H.; VERDEGEMA, M.C.J.; HEINSBROEKA, L.T.N., SCHNEIDER, O., BLANCHETON, J.P.; D'ORBCASTELD, E.R.; VERRETH, J.A.J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacult. Eng.**, 43: 83-93, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.

24. MENIM, E.; MIMURA, O.M. Anatomia do estômago de duas espécies de peixes de água doce, *Prochilodus marginatus* (Walbaun,1792) e *Prochilodus affinis*, Reinhardt, 1874) (*Characiformes, Prochilodontidae*), de hábito alimentar

iliófago. **Rev. CERES**, V.40, N. 229, p.253-271.1993.

25. MIRZOYAN, N., PARNES, S., SINGER, A., TAL, Y., SOWERS, K., GROSS, A. Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Aquaculture**, 279: 35–41, 2008.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860800286X>

26. NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A.A.; BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P.V.; CAVICCHIOLI, M. **Ovos e larvas de peixes de água doce, desenvolvimento e manual de identificação.** Maringá:

UEM/Nupélia.2001.378p. ill.

<https://www.worldcat.org/title/ovos-e-larvas-de-peixes-de-agua-doce-desenvolvimento-e-manual-de-identificacao/oclc/709512743>

27. NASCIMENTO, W.S.; ARAÚJO, A.S.; BARROS.; N.H.C.; GURGEL, C.L.L. ; COSTA, E.F.S.; CHELLAPPA, S. Technical contribution. length–weight relationship for seven freshwater fish species from Brazil. **J. Appl. Ichthyol.**n.28, 272–274. 2012. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1439-0426.2011.01906.x>

28. PEREIRA, R.A.C.; RESENDE, E.K. **Peixes detritívoros da planície inundável do Rio Miranda, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil.** Corumbá: EMBRAPA PANTANAL, 1998. 50p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 12). <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37441/1/BP12.pdf>.

29. SALAS-LEITON, E., ANGUIS,V., MARTINS-ANTONIO, B. et al. Effect of stocking density and feed ration on growth and gene expression in Senegalese sole (*Solea senegalensis*):potential effect on immune response. **Fish Selfish Immunol.** v.28, n.2. p.296. 2010. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105046480900360X?via%3Dihub>

30. SUMMERFELT, S.T., ZÜHLKE, A., KOLAREVIC, J., REITEN, B.K.M., SELSET, R., GUTIERREZ, X., & TERJESSEN, B.F. Effects of alkalinity on ammonia removal, carbon dioxide stripping, and system pH in semi-commercial scale water recirculating aquaculture systems operated with moving bed bioreactors. **Aquacult. Engin.**, 65, 46-54. 2015.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860914001149?via%3Dihub>

31. TRYGGVASON, A.T. **A Systematic View on a Recirculating Aquaculture System: Causality Relation Between Variables.** Master’s thesis, Faculty of Industrial Engineering, Mech. **Engin. and Comp. Sci.**, University of Iceland, pp. 65. 2016.

<https://skemman.is/handle/1946/26224?localeen>

32. VAN DE NIEUWEGIESSEN, P.G.; BOERLAGE, A.S.; VERRETH, J.A.J.; SCHRAMA, J. Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. **Appl. Anim. Behav. Sci.**, v.115, p.233-243, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.05.008>

33. VAN RIJN, J. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - a review. **Aquaculture**, 139: 181–201, 1996. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01151-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01151-X).

34. YAARAHMADI, P. MIANDARE, H.K.; FAYAZ, S.; CAIPANG, C.M.A. Increased stocking density causes changes in expression of selected stress- and immune-related genes, humoral innate immune parameters and stress responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology* v.48, p43-53, 2016. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26549176>

35. ZACHRITZ I.I., W.A., HANSON, A.T., SAUCEDA, J.A., FITZSIMMONS, K.M. Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquac. Eng.** 39, 16–23. 2008. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2008.05.001 <https://www.researchgate.net/publication/22241452> Evaluation of submerged surface flow SSF constructed wetlands for recirculating tilapia production systems