

DESENVOLVIMENTO GONADAL DO BEIJUPIRÁ, *Rachycentron canadum*, CRIADO EM MAR ABERTO EM PERNAMBUCO

GONADAL DEVELOPMENT OF COBIA, *Rachycentron canadum*, REARED OFF THE COAST OF PERNAMBUCO, NORTHEASTERN BRAZIL

Thales Ramon de Queiroz Bezerra^{1,2}, Ernesto C. Domingues^{1,3}, Santiago Hamilton¹ e Ronaldo O. Cavalli^{1,4}

¹ Departamento de Pesca e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil

² Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 500, Cidade Universitária, 50740-540, Recife, PE, Brasil

³ Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, 50670-901, Recife, PE, Brasil

⁴ Estação Marinha de Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rua do Hotel, 2, Cassino, 96210-030, Rio Grande, RS, Brasil

E-mail: ronaldocavalli@gmail.com

Abstract

This study assessed the gonadal development of cobia (*Rachycentron canadum*) reared in floating cages off the coast of Pernambuco, north-eastern Brazil, in order to verify the possibility that these fish would breed under these conditions. From the 132 individuals sampled between January and September 2011, total length (TL) varied between 26.2 and 61.0 cm, and the total weight (TW), between 121 and 2,436 g. The male to female ratio was 1:1 and the mean gonadosomatic index (IGS) of the females varied between 0.37 and 1.38; the highest value being classified as final maturation. For males, mean IGS ranged from 0.25 to 0.62. The distribution of TL and TW among males and females was not significantly different. Immature, maturing and fully mature males were collected. Conversely, the relatively short rearing period of nine months did not allow the sampling of fully mature females. Nevertheless, the present results indicate the possibility that cage-reared cobia may produce offspring. The development of cobia farming in open waters off Pernambuco should therefore consider strategies to minimize or avoid the escape of eggs and/or larvae to the natural environment.

Keywords: Marine fish farming; reproduction; escapees; environmental impact.

Resumo

Este estudo analisou o desenvolvimento gonadal do beijupirá (*Rachycentron canadum*) criado em gaiolas flutuantes na plataforma continental de Pernambuco a fim de averiguar a possibilidade desses indivíduos se reproduzirem. Dos 132 exemplares amostrados entre janeiro e setembro de 2011, o comprimento total (CT) variou entre 26,2 e 61,0 cm, e o peso total (PT), entre 121 e 2.436 g. A proporção macho/fêmea foi de 1:1 e o índice gonadosossômico (IGS) médio das fêmeas variou entre 0,37 e 1,38, sendo o maior valor classificado em maturação final. Para os machos, os IGS médios oscilaram entre 0,25 e 0,62. A distribuição do CT e PT entre machos e fêmeas não apresentou diferença significativa. Foram encontrados machos em estágios imaturos, em maturação e maduros. Embora o período de criação relativamente curto (9 meses) não tenha permitido a amostragem de fêmeas plenamente maduras, os resultados indicam a possibilidade de reprodução de beijupirás criados intensivamente em gaiolas flutuantes no mar aberto de Pernambuco. O desenvolvimento dessa atividade deve considerar estratégias que minimizem ou evitem as fugas de ovos e/ou larvas para o ambiente natural.

Palavras chave: Piscicultura marinha; reprodução; escape; impacto ambiental.

Introdução

Estudos sobre a biologia reprodutiva de peixes são comumente realizados com o objetivo de conhecer a ecologia de espécies de interesse, especialmente com o intuito de auxiliar na gestão pesqueira. Na aquicultura, o conhecimento sobre a reprodução de peixes também é importante, pois a disponibilidade de ovos e larvas de qualidade e a capacidade de controlar a reprodução são fatores limitantes na criação de qualquer espécie. O entendimento sobre a biologia da reprodução de peixes em cativeiro também serve para definir se a espécie alcança a maturação sexual durante a sua criação, e, dessa forma, permitiria evitar ou mitigar possíveis problemas que a fuga de ovos e/ou larvas possa causar às populações selvagens (Jonsson & Jonsson, 2006; Atalah & Sanchez-Jerez, 2020).

O Brasil possui uma ictiofauna marinha com alta diversidade de espécies de valor econômico. Nos últimos anos, a aquicultura do beijupirá (*Rachycentron canadum*) tem despertado o interesse de produtores brasileiros (Cavalli *et al.*, 2011, Hamilton *et al.*, 2013), devido, principalmente, aos índices de produção alcançados na Ásia (Liao & Leño, 2007; Nhu *et al.*, 2011). O beijupirá é nativo da costa brasileira (Figueiredo & Menezes, 1980), tem rápido crescimento (Liao & Leño, 2007; Benetti *et al.*, 2008) e as tecnologias de produção de formas jovens em cativeiro e de engorda em gaiolas ou tanques-rede estão prontamente disponíveis (Holt *et al.*, 2007b; Liao & Leño, 2007; Benetti *et al.*, 2008; Nhu *et al.*, 2011).

A criação do salmão do Atlântico (*Salmo salar*) e do bacalhau (*Gadus morhua*) vêm experimentando uma série de problemas com a fuga de peixes (Jonsson & Jonsson, 2006; Jørstad *et al.*, 2008), inclusive por que essas espécies são capazes de se reproduzir e liberar material genético para o ambiente natural (McGinnity *et al.*, 2003; Jørstad *et al.*, 2008). Porém, para espécies que se reproduzem em mar aberto, como o beijupirá (Kaiser & Holt, 2005), o conhecimento sobre o impacto dessas fugas é praticamente inexistente (Meager *et al.*, 2009; Darden *et al.*, 2017).

No Brasil, o beijupirá vem sendo reproduzido em cativeiro desde 2006, quando desovas espontâneas foram obtidas em vários laboratórios (Carvalho Filho, 2006; Souza-Filho & Tosta, 2008; Peregrino Jr. *et al.*, 2014). Em muitos desses casos, foram observadas desovas viáveis de animais com tamanho e idade inferiores aos indicados pela literatura (Lotz *et al.*, 1996; Franks & Brown-Peterson, 2002; Velde *et al.*, 2010), o que sugere a antecipação da maturidade sexual em indivíduos de cativeiro. Este trabalho analisou a possibilidade da liberação de gametas por beijupirás (*R. canadum*) mantidos sob condições de criação intensiva em gaiolas flutuantes instaladas na plataforma continental de Pernambuco.

Material e Métodos

Exemplares de beijupirá criados em cativeiro foram obtidos junto ao projeto “*Cação de escama*”. Quatro gaiolas flutuantes circulares com 16 m de diâmetro e 6 m de profundidade (1.200 m³ de volume) foram instaladas em frente à praia de Boa Viagem, Recife, PE (08°08'29,61"S 034°49'21,62"W). Juvenis com peso médio de 272,8 g (\pm 26,6) foram estocados nas gaiolas a uma densidade de 3,0 peixes/m³ em dezembro de 2010. Durante nove meses, os peixes receberam duas refeições diárias de uma ração comercial com 42% de proteína bruta e 8% de lipídios.

No período de janeiro a setembro de 2011, coletas aleatórias de peixes foram realizadas, em intervalos de aproximadamente 60 dias (Tabela 1). Os peixes foram imediatamente sacrificados em água com gelo e transportados até o porto em caixas térmicas com gelo. Os peixes foram então mantidos a -18°C durante aproximadamente uma semana até a dissecação. A quantidade de beijupirás amostrados dependeu das condições de tempo e de mar, e variou de 13 a 31 indivíduos por amostra.

No laboratório, os peixes foram descongelados, pesados e medidos, aferindo-se o comprimento total (CT), peso total (PT), e peso eviscerado (PE). As gônadas foram extraídas, medidas, pesadas e o estágio de maturação foi estimado macroscopicamente. Elas foram então transferidas para uma solução de formalina a 10%, onde foram mantidas por, no mínimo, 48 h. O processamento foi finalizado com a transferência das gônadas para solução de álcool a 70%. Depois de fixadas, as gônadas foram seccionadas na porção mediana, desidratadas, imersas em blocos de parafina, seccionadas a 6 μ m, coradas com hematoxilina/eosina e examinadas em microscópio óptico (McMillan, 2007). Em seguida, foram analisadas microscopicamente para identificação do sexo e os estágios de maturação foram classificados a partir da escala adaptada de Brown-Peterson *et al.* (2011) para fêmeas (imaturo, maturação inicial, maturação final, maduro, desovado e em repouso) e machos (imaturo, em maturação, maduro e em repouso).

A proporção sexual foi avaliada com o teste de Qui-quadrado (χ^2), considerando uma expectativa de relação de 1:1 entre fêmeas e machos. Para avaliação de diferenças na distribuição do comprimento total (CT) entre os sexos foi utilizado o teste de Kolmogorov–Smirnov (K–S) ($p < 0,05$). O mesmo teste foi aplicado para a distribuição do peso total (PT) entre os sexos ($p < 0,05$). Os índices gonadossomáticos (IGS) foram avaliados para os sexos separadamente. A estimativa do IGS foi realizada através do percentual do peso das gônadas em relação ao peso eviscerado de cada exemplar (Snyder, 1983). A fecundidade relativa, o tipo de desova e o tamanho de primeira maturação sexual (L_{50}) não foram estimados, uma vez que os peixes amostrados não atingiram a maturação sexual plena até o final do período amostral.

Resultados

Todos os exemplares amostrados (132 peixes) foram sexados e a proporção sexual foi de 1:1 com 66 machos e 66 fêmeas. A tabela 1 mostra que o teste de Qui-quadrado confirmou a inexistência de diferenças significativas na proporção sexual também ao longo das coletas bimestrais.

Tabela 1. Número de machos e fêmeas e variação de comprimento total (CT) e peso eviscerado (PE) de beijupirá, *Rachycentron canadum*, criados em gaiolas flutuantes em mar aberto em Pernambuco ao longo do período amostral.

Data da amostragem	<i>n</i>			χ^2	CT (cm)		PE (g)	
	♂	♀	Total		♂	♀	♂	♀
25/02/2011	14	16	30	0,71	28,2-34,5	26,2-32,0	148,0-336,0	108,0-220,0
07/04/2011	18	10	28	0,13	30,5-36,8	31,2-37,5	206,6-375,9	215,8-404,5
20/06/2011	14	16	30	0,71	34,8-45,5	36,2-52,0	279,7-915,0	338,5-1.352,0
03/08/2011	6	7	13	0,78	38,5-43,3	37,8-45,7	189,9-673,0	359,1-799,0
16/09/2011	14	17	31	0,59	44,1-61,0	44,0-56,0	667,3-2074,0	761,0-1.597,4
Total	66	66	132	1,00				

O CT dos 132 indivíduos amostrados se distribuiu entre 26,2 e 61,0 cm, e a moda entre 30,1 e 38,0 cm (Figura 1). A distribuição do CT entre os sexos não apresentou diferença significativa (Teste K-S, $p = 0,544$), assim como a distribuição do PT entre os sexos, que variou entre 121,0 e 2.436,0 g (Teste K-S, $p = 0,560$).

Dos 132 indivíduos amostrados, 25 (12 machos e 13 fêmeas) foram selecionados aleatoriamente para a avaliação histológica. Nas fêmeas, foram observados três estágios de maturação: imaturo (A), maturação inicial (B1) e maturação final (B2). Do total de 66 fêmeas,

14 (21,2%) estavam no estágio imaturo, evidenciado pela presença de ovogônias; 33 fêmeas (50,0%) estavam no estágio de maturação inicial, corroborado pelo grande número de ovócitos em crescimento primário e em fase cortical alveoli. As 19 fêmeas restantes (28,8%) se encontravam no estágio de maturação final, com ovócitos em vitelogênese inicial e vitelogênese avançada. A partir de abril não foram observadas fêmeas imaturas. Com o crescimento dos peixes, o desenvolvimento gonadal aumentou gradativamente. Em setembro, apenas 12,0% das fêmeas estavam em maturação inicial, enquanto que 88,0% encontravam-se em maturação final (Figura 2).

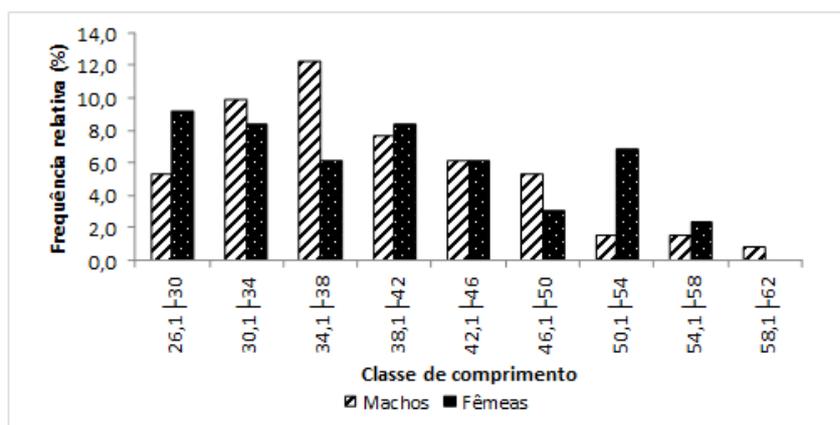


Figura 1. Distribuição de frequência relativa de classes de comprimento total (cm) de machos e fêmeas de beijupirá (*Rachycentron canadum*) criados em gaiolas flutuantes no mar aberto em Pernambuco.

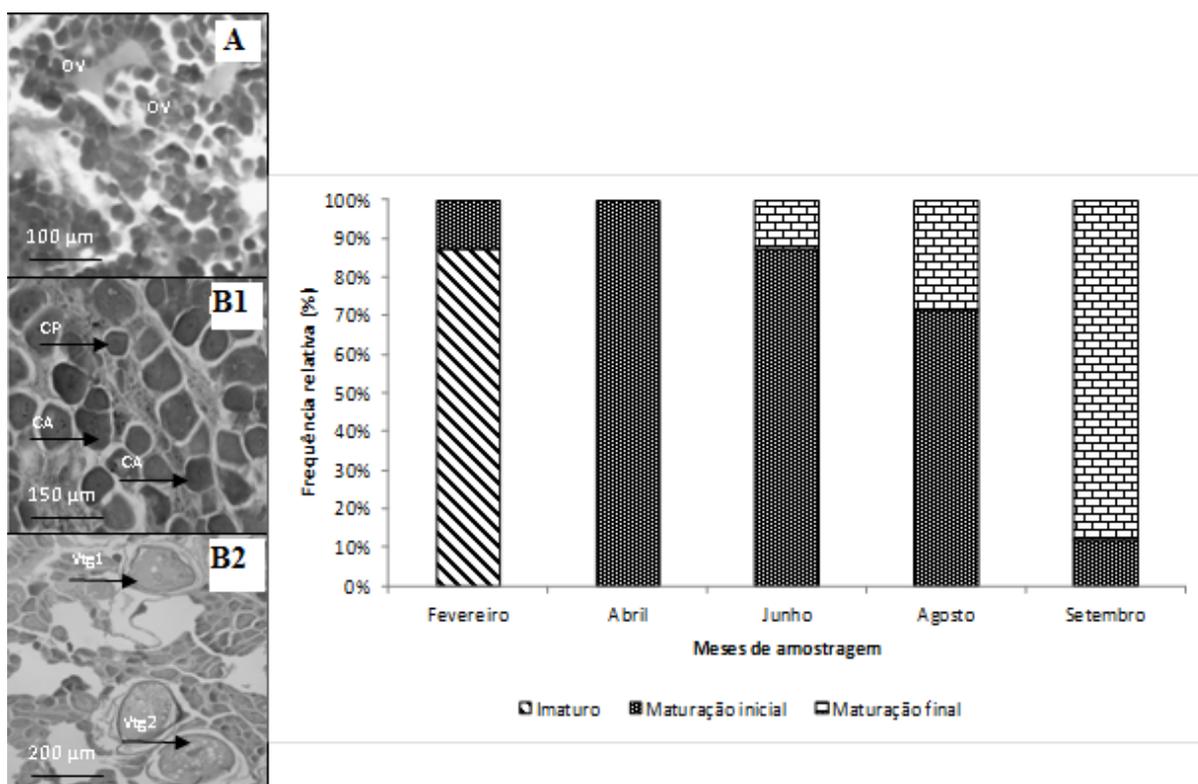


Figura 2. Indicadores histológicos utilizados para a avaliação dos estágios maturacionais e distribuição de frequência desses estágios ao longo do tempo amostral de fêmeas de beijupirá (*Rachycentron canadum*) criadas em gaiolas flutuantes no mar aberto em Pernambuco: (A) imatura; (B₁) em maturação inicial; e (B₂) em maturação final (OV = ovogônias; CP = ovócito em crescimento

primário; CA = Cortical alveoli; Vtg1 = ovócitos em vitelogênese inicial; Vtg2 = Ovócitos em vitelogênese avançada).

Dos 66 machos amostrados, 14 (21,2%) encontravam-se imaturos, 11 (16,7%) em maturação e 41 (62,1%) maduros. A análise histológica comprovou a maturidade reprodutiva pela presença significativa de espermátocitos e espermatozoides nos testículos. Os machos considerados maduros apresentavam elevado número de espermatozoides nos túbulos seminíferos, o que caracteriza tal estágio (Figura 3C). Assim como nas fêmeas, os estágios de maturação evoluíram gradativamente com o aumento do tamanho dos machos. Na coleta de fevereiro de 2011, todos os machos estavam imaturos. Em abril, 70% dos machos estavam em maturação, e 30% maduros. A partir de junho, 100% dos machos estavam maduros (Figura 3).

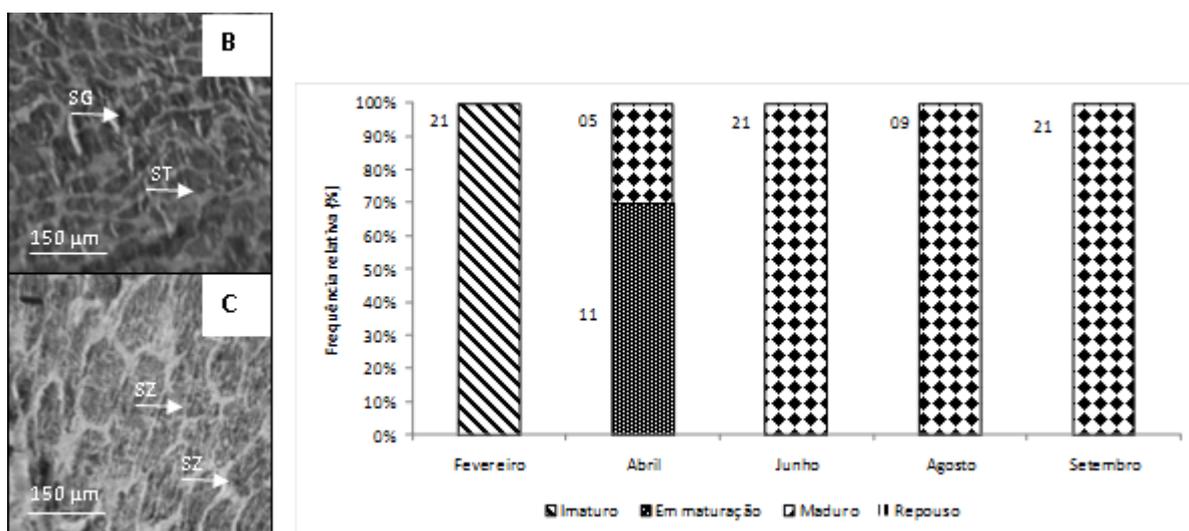


Figura 3. Indicadores histológicos utilizados para a avaliação dos estágios maturacionais e distribuição de frequência desses estágios ao longo do tempo amostral de machos de bejupirá (*Rachycentron canadum*) criados em gaiolas flutuantes no mar aberto em Pernambuco: (B) em maturação e (C) maduro (SG = espermatozoides; ST = espermátocitos; SZ = espermatozoides).

Os menores IGS das fêmeas (entre 0,21 e 1,06) foram observados em fevereiro e abril (Figura 4A). Para os machos, os maiores IGS (entre 0,15 e 1,03) foram observados em setembro, enquanto os mais baixos ocorreram nos meses de fevereiro e junho (Figura 4B).

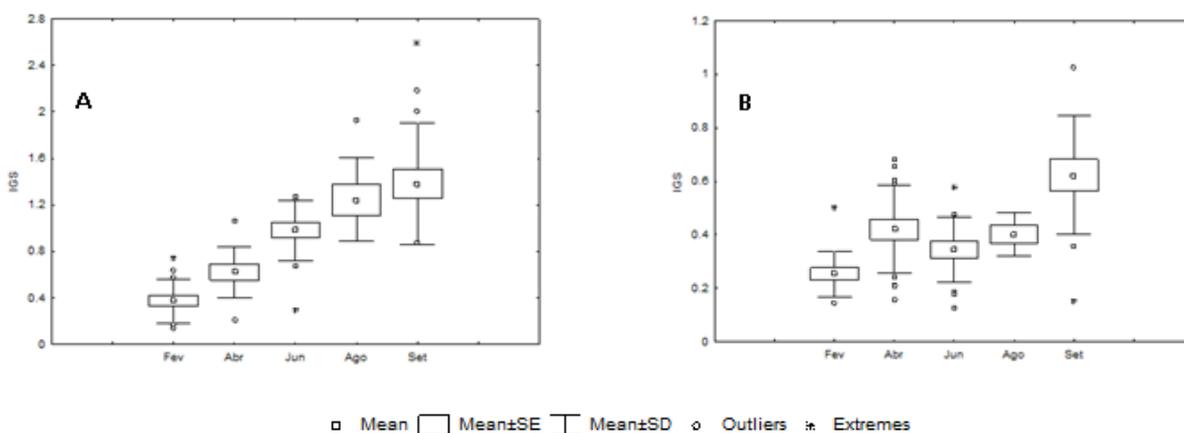


Figura 4. Índice gonadosomático (IGS) médio (\pm erro padrão) ao longo do tempo de fêmeas (A) e machos (B) de bejupirá (*Rachycentron canadum*) criados em gaiolas flutuantes em mar aberto em Pernambuco.

A Tabela 2 apresenta o intervalo de variação das médias de CT do peso das gônadas em relação ao estágio de maturação sexual de fêmeas e machos de beijupirá, enquanto a Figura 5 exibe a relação entre peso das gônadas e o CT das fêmeas e machos por estágio de maturação sexual.

Tabela 2. Faixa de variação das médias de comprimento total (CT) e do peso das gônadas em relação ao estágio de maturação sexual de fêmeas e machos de beijupirá (*Rachycentron canadum*) criados em gaiolas flutuantes em mar aberto em Pernambuco.

	CT (cm)	Peso das gônadas (g)
Fêmeas imaturas	26,2 a 31,2	0,15 e 1,49
Fêmeas em maturação inicial	31,4 e 44,0	0,45 e 9,30
Fêmeas em maturação final	44,5 a 56,0	4,08 e 29,30
Machos imaturos	28,2 e 34,4	0,27 e 1,69
Machos em maturação	28,9 e 34,5	0,33 e 1,90
Machos imaturos	34,7 a 61,0	0,51 e 11,10

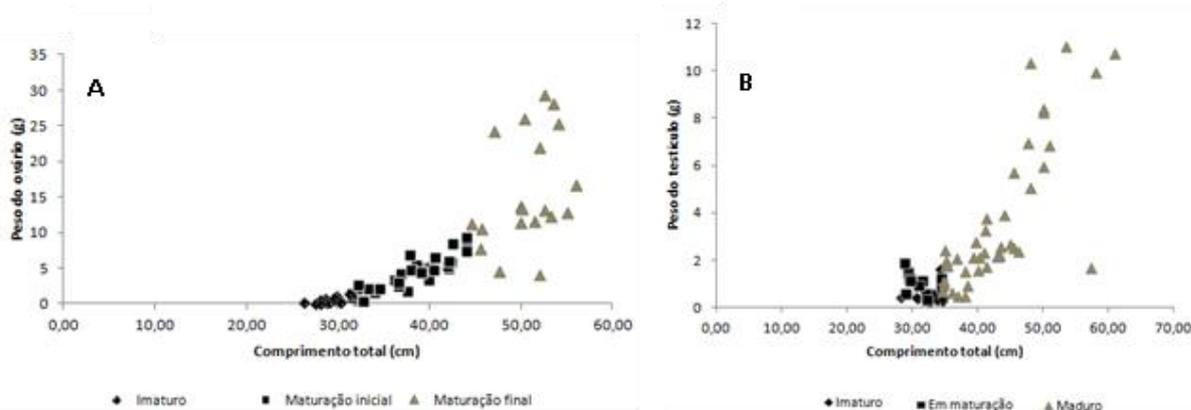


Figura 5. Relação entre o comprimento total e o peso dos ovários (A) e o comprimento total e o peso dos testículos (B) por estágio de maturação de beijupirá (*Rachycentron canadum*) criados no mar aberto em Pernambuco.

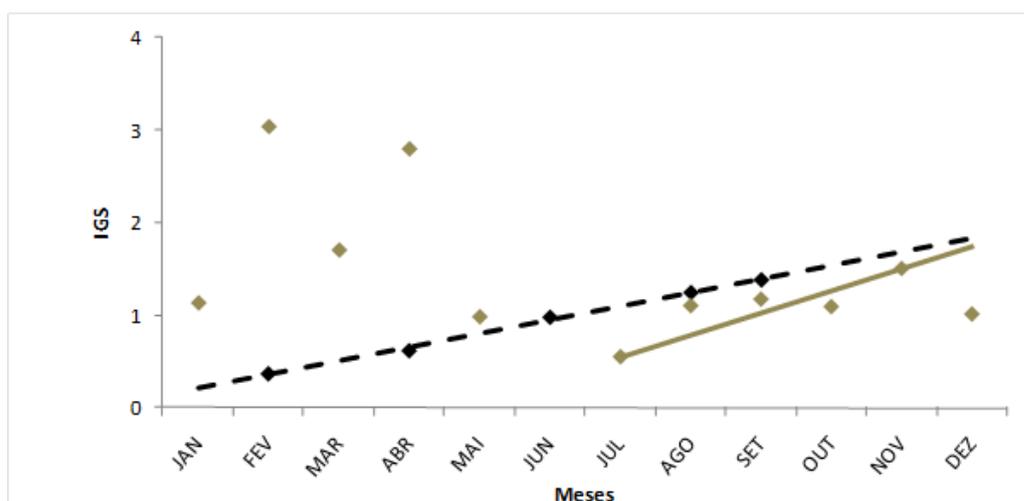
Discussão

Estudos de biologia reprodutiva de populações selvagens indicam que os machos de beijupirá atingem a maturidade sexual após dois anos de vida (CT = 65 cm), enquanto as fêmeas alcançam apenas no terceiro ano, com um CT de aproximadamente 80 cm (Franks & Brown-Peterson, 2002; Velde *et al.*, 2010). Lotz *et al.* (1996) ressaltaram que o tamanho e a idade em que o beijupirá alcança a maturidade sexual no Golfo do México, EUA, apresenta variações importantes. Geralmente, os machos têm um ou dois anos na primeira espermição, enquanto nas fêmeas a primeira desova ocorre no segundo ou terceiro ano de idade. Em estudo realizado em Pernambuco, Brasil, o menor macho e fêmea adultos mediam 61 e 70 cm de CF, respectivamente (Hamilton, 2017). Para exemplares de beijupirá nascidos e/ou mantidos em cativeiro, há uma tendência de que as desovas ocorram mais precocemente do que nos indivíduos selvagens. Por exemplo, Holt *et al.* (2007b) obtiveram desovas viáveis de exemplares com dois anos de vida, enquanto beijupirás criados em gaiolas submersas no México e em Porto Rico desovaram com aproximadamente 10 meses (Benetti *et al.*, 2008). Nesse caso, os machos tinham cerca de 2,0 kg e as fêmeas, 3,0 kg. De modo similar, machos foram capazes de liberar esperma apenas seis meses após o início da criação em gaiolas

flutuantes na Colômbia (Ardila, comunicação pessoal¹). No sudeste do Brasil, fêmeas com menos de um ano de criação, e aproximadamente 3,0 kg, desovaram em tanques em terra (Manzella Jr, comunicação pessoal²). Neste estudo, todos os machos amostrados a partir de junho, ou seja, com CT \geq 34,8 cm, foram considerados maduros. Em relação às fêmeas, as análises macro e microscópicas dos ovários e o aumento gradativo do IGS médio indicam claramente a evolução dos estágios de desenvolvimento gonadal. Isso permite inferir a ocorrência de desovas de fêmeas com menos de um ano de idade, e confirma o observado nos estudos citados anteriormente.

No ambiente natural, o pico da atividade reprodutiva do beijupirá ocorre na primavera e verão (Lotz *et al.*, 1996; Brown-Peterson *et al.*, 2001; Kaiser & Holt, 2005; Velde *et al.*, 2010; Stieglitz *et al.*, 2012), o que também foi observado para indivíduos mantidos em cativeiro (Carvalho Filho, 2006; Holt *et al.*, 2007a; Nhu *et al.*, 2011; Peregrino Jr. *et al.*, 2014). Ao analisar a histologia de exemplares capturados na costa de Pernambuco, Hamilton (2017) observou que a atividade reprodutiva iniciava em outubro. De modo similar, as primeiras desovas naturais de reprodutores mantidos em tanques em terra na Bahia (Carvalho Filho, 2006) e em Pernambuco (Peregrino Jr. *et al.*, 2014) também ocorreram em outubro. Embora as amostragens do presente estudo tenham sido realizadas somente até setembro, a elevação gradativa do IGS das fêmeas, particularmente entre junho e setembro, indica a possibilidade iminente de desovas. Nesse sentido, a comparação dos resultados de IGS médio das fêmeas deste estudo com os obtidos em fêmeas selvagens capturadas na plataforma continental de Pernambuco (Hamilton, 2017), confirma tal hipótese (Figura 6). Devemos considerar, porém, que as fêmeas amostradas por Hamilton (2017) eram maiores (CF médio = 89,7 cm) do que as aqui amostradas, e que o IGS foi estimado com base no peso total das fêmeas.

Vários estudos realizados com adultos de beijupirá mantidos em cativeiro demonstraram que o período de atividade reprodutiva pode se estender além do observado em condições naturais (Chang *et al.*, 1999; Gaumet *et al.*, 2007; Holt *et al.*, 2007b; Stieglitz *et al.*, 2012; Peregrino *et al.*, 2014). O fornecimento *ad libitum* de alimentos de alta qualidade nutricional e a manutenção de condições ambientais favoráveis são fatores considerados fundamentais neste processo (Peregrino *et al.*, 2014). Portanto, para peixes mantidos em cativeiro sob tais condições, o período de desova não ficaria atrelado ao aumento da temperatura da água durante a primavera e o verão (Lotz, *et al.*, 1996; Stieglitz *et al.*, 2012), mas à duração do ciclo de engorda em gaiolas ou da idade dos animais (Cargnelli & Gross 1996; Lowerre-Barbieri *et al.* 1998, 2011).



¹ Ardila. "Comunicação pessoal", Diego F. Ardila, Antillana S.A., Cartagena, Colômbia.

² Manzella Jr. "Comunicação pessoal", João Carlos Manzella Junior, Maricultura Itapema Ltda., Ilhabela, SP, Brasil.

Figura 6 – Comparação das médias do índice gonadossomático (IGS) ao longo do ano de fêmeas selvagens de beijupirá (*Rachycentron canadum*) capturadas na costa de Pernambuco (Hamilton, 2017; linha contínua) e de fêmeas criadas em gaiolas no litoral de Pernambuco (Este estudo; linha tracejada).

O conhecimento sobre a biologia reprodutiva dos peixes criados em gaiolas também é importante para que se possam evitar possíveis impactos às populações selvagens relacionados com a fuga de exemplares de cativeiro, na forma de ovos e larvas (Jonsson & Jonsson, 2006; Darden *et al.*, 2017; Atalah & Sanchez-Jerez, 2020). A magnitude desses impactos depende se haverá ou não exemplares selvagens da mesma espécie, ou parentes próximos no ambiente natural, e se os indivíduos "fugitivos" serão reprodutivamente ativos nesse novo ambiente (Naylor *et al.*, 2005). Nas criações em gaiolas no mar, alguns peixes podem desovar e liberar material genético no ambiente (Jørstad *et al.*, 2008; Meager *et al.*, 2009). Esses "fugitivos" podem impactar os ecossistemas através do aumento de interações negativas (como predação e competição) e da hibridação e perda da diversidade genética em populações nativas (Naylor *et al.*, 2005; Araki *et al.* 2007). A produção do salmão do Atlântico (*S. salar*) e do bacalhau (*G. morhua*) em gaiolas vêm experimentando uma série de problemas com a fuga de peixes para o ambiente natural (Jonsson & Jonsson, 2006; Jørstad *et al.*, 2008), inclusive por que essas espécies são comprovadamente capazes de se reproduzir nessas condições (McGinnity *et al.*, 2003; Jørstad *et al.*, 2008). O escape desses peixes pode acarretar mudanças morfológicas, fisiológicas e ecológicas (Jonsson & Jonsson, 2006), diminuir a fecundidade e a resistência da prole, alterar o condicionamento físico (Dannewitz *et al.*, 2004; Weir *et al.*, 2005), aumentar a competição por alimento, espaço e parceiros para reprodução (Jonsson & Jonsson, 2006) e diminuir a capacidade de migração dos indivíduos híbridos (Utter, 2004). A maioria dessas alterações pode levar até dez gerações para se dissipar, caso sejam efetivamente corrigidas (Hindar *et al.*, 2006). Nos casos de grandes níveis de intrusão de peixes "fugitivos" em populações naturais será praticamente impossível obter reprodutores totalmente selvagens (Hindar *et al.*, 2006).

Várias estratégias de prevenção ou mitigação desses impactos vêm sendo consideradas, desde a instalação de fazendas de criação em áreas em terra, isoladas do ambiente marinho (Naylor *et al.*, 2005), à criação de indivíduos triploides, que são inférteis e, portanto, não haveria interação sexual com peixes selvagens (Puvanendran *et al.*, 2019). Uma vantagem adicional dos indivíduos triploides é que eles geralmente crescem mais rápido (Felip *et al.*, 2001; Puvanendran *et al.*, 2019). A criação de linhagens monossexo de fêmeas, por meio da ginogênese, ou de machos (androgênese) também pode ser aplicada para evitar a reprodução (Komen & Thorgaard, 2007; Molina *et al.*, 2018). Embora a triploidia e a ginogênese/androgênese sejam tradicionalmente aplicadas em peixes de água doce, estudos recentes tem considerado peixes marinhos (Felip *et al.*, 2001). Outra abordagem para a criação de populações monossexo seria por meio da reversão sexual com uso de hormônios (Pandian & Sheela, 1995). A formação de planteis de reprodutores com maturação mais tardia (Yossa *et al.*, 2019) também é proposta como uma possível solução.

Como a produção de beijupirá em cativeiro é uma atividade relativamente nova (Holt *et al.*, 2007b; Cavalli *et al.*, 2011) e a espécie tem importância reduzida na produção pesqueira brasileira e mundial (Hamilton *et al.*, 2013), a preocupação com as consequências do cruzamento de exemplares "fugitivos" com a população selvagem ainda não despertou a atenção dos gestores ambientais. Apesar disso, os resultados deste estudo indicam a possibilidade da reprodução do beijupirá sob condições de criação intensiva em gaiolas flutuantes. É evidente, portanto, a existência de riscos para os ecossistemas e que devem ser tomadas medidas preventivas a fim de evitar problemas similares aos enfrentados, por exemplo, nas criações de salmão e bacalhau. As medidas de gestão devem incluir o monitoramento e a regulamentação da atividade a fim de garantir que o seu desenvolvimento seja economicamente eficiente e cause o mínimo impacto possível.

Conclusão

Existe a possibilidade de que beijupirás criados intensivamente em gaiolas flutuantes no mar aberto em Pernambuco venham a se reproduzir. O desenvolvimento dessa atividade deve considerar estratégias para minimizar ou mitigar as consequências das fugas de ovos e/ou larvas para o ambiente natural.

Agradecimentos

Este estudo foi apoiado pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Proc. 559759/2009-6). T.R.Q. Bezerra e E.C. Domingues receberam bolsas de Doutorado e Mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), respectivamente. S. Hamilton é bolsista PNPd/CAPES. R.O. Cavalli é bolsista do CNPq (Proc. 307528/2017-0).

Referências

- Atalah, J. & Sanchez-Jerez, P. 2020. Global assessment of ecological risks associated with farmed fish escapes. *Global Ecology and Conservation*, 21: e00842.
- Araki, H., Cooper, B., & Blouin, M.S. (2007). Genetic effects of captive breeding cause a rapid cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318, 100-103.
- Benetti, D. D., Orhun, M. R., Sardenberg, B., O'Hanlon, B., Welch, A., Hoenig, R., ... Cavalin, F. (2008). Advances in hatchery and grow-out technology of cobia *Rachycentron canadum* (Linnaeus). *Aquaculture Research*, 39, 701-711.
- Brown-Peterson, N.J., Overstreet, R.M., Lotz, J.M., Franks, J.S., Burns, K.M. (2001). Reproductive biology of cobia, *Rachycentron canadum*, from coastal waters of the southern United States. *Fishery Bulletin*, 99, 15–28.
- Brown-Peterson, N.J., Wyanski, D.M., Saborido-Rey, F., Macewicz, B.J., & Lowerre-Barbieri, S.K. (2011). A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries*, 3, 52-70.
- Cargnelli, L.M., & Gross, M.R. (1996). The temporal dimension in fish recruitment: birth date, body size, and size-dependent survival in a sunfish (bluegill: *Lepomis macrochirus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53, 360–367.
- Carvalho Filho, J. (2006). O êxito da primeira desova do bijupirá. *Panorama da Aquicultura*, 16(97), 40-45.
- Cavalli, R.O., Domingues, E.C., & Hamilton, S. (2011). Desenvolvimento da produção de peixes marinhos em mar aberto no Brasil: possibilidades e desafios. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 151-164.
- Chang, S.L., Hsieh, C.S., & Chao, Z.L. (1999). Notes on artificial propagation and grow-out techniques of cobia (*Rachycentron canadum*). *Fish World Magazine*, 270, 14-26.
- Dannewitz, J., Petersson, E., Dahl, J., Prestegard, T., Lof, A.C., & Jarvi, T. (2004). Reproductive success of hatchery-produced and wild-born brown trout in an experimental stream. *Journal of Applied Ecology*, 41, 355-364.
- Darden, T.L., Robinson, J.D., Strand, A.E. & Denson, M. (2017). Forecasting the genetic impacts of net pen failures on Gulf of Mexico cobia populations using individual-based model simulations. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48, 20-34.

- Felip, A., Zanuy, S., Carrillo, M., & Peferrer, F. (2001). Induction of triploidy and gynogenesis in teleost fish with emphasis on marine species. *Genetica*, *111*, 175-195.
- Figueiredo, J.L., & Menezes, N.A. (1980). Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. III. Teleostei (2). São Paulo, SP: Museu de Zoologia da USP.
- Franks, J.S., Brown-Peterson, N.J. (2002). A review: age, growth and reproduction of cobia, *Rachycentron canadum*, from U.S. waters of the Gulf of Mexico and south Atlantic Ocean. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, *53*, 553-569.
- Gaumet, F., Babet, M.C., Bettes, A., Le Toullec, G., Schires, G., & Bosc, P. (2007). Advances in cobia, *Rachycentron canadum*, research in La Réunion Island (France): problems and perspectives. In I.C. Liao & E.M. Leñaño (Eds.), *Cobia Aquaculture: research, development and commercial production* (pp. 115-129), Taipei. Taiwan: Asian Fisheries Society.
- Hamilton, S. (2017). Biologia reprodutiva e hábito alimentar do beijupirá (*Rachycentron canadum*) como base para o desenvolvimento da piscicultura marinha. Recife. 115p. (Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco). Disponível em: <http://www.pgpa.ufrpe.br/sites/www2.pgpa.ufrpe.br/files/documentos/tese_-_santiago_hamilton.pdf>
- Hamilton, S., Severi, W., & Cavalli, R.O. (2013). Biologia e aquicultura do beijupirá: uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, *39*, 461-477.
- Hindar, K., Fleming, I.A., McGinnity, P., & Diserud, O. (2006). Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modeling from experimental results. *ICES Journal of Marine Science*, *63*, 1234-1247.
- Holt, G.J., Kaiser, J., & Faulk, C. (2007a). Advances in cobia research in Texas. In I.C. Liao & E.M. Leñaño (Eds.), *Cobia Aquaculture: research, development and commercial production* (pp. 45-56), Taipei, Taiwan: Asian Fisheries Society.
- Holt, G.J., Faulk, C., & Schwarz, M. (2007b). A review of the larviculture of cobia *Rachycentron canadum*, a warmwater marine fish. *Aquaculture*, *268*, 181-187.
- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2006). Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. *ICES Journal of Marine Science*, *63*, 1162-1181.
- Jørstad, K.E., Van Der Meeren, T., Paulsen, O.I., Thomsen, T., Thorsen, A., & Svåsand T. (2008). "Escapes" of eggs from farmed cod spawning in net pens: recruitment to wild stocks. *Reviews in Fisheries Science*, *16*, 285-295.
- Kaiser, J.B., & Holt, G.J. (2005). Species Profile Cobia. *Southern Regional Aquaculture Center*, Publication 7202, 6 p. Disponível em: <<https://srac.tamu.edu/index.cfm/event/getFactSheet/whichfactsheet/180/>>.
- Komen, H., & Thorgaard, G.H. (2007). Androgenesis, gynogenesis and the production of clones in fishes: a review. *Aquaculture*, *269*, 150-173.
- Liao, I.C., & Leñaño, E.M. (Eds.). (2007). *Cobia aquaculture: research, development and commercial production*. Taipei, Taiwan: Asian Fisheries Society.
- Lotz, J.M., Overstreet, R.M., & Franks, J.S. (1996). Gonadal maturation in the cobia, *Rachycentron canadum*, from the northcentral Gulf of Mexico. *Gulf Research Reports*, *9*, 147-159.
- Lowerre-Barbieri, S.K., Lowerre, J.M., & Barbieri, L.R. (1998). Multiple spawning and the dynamics of fish populations: inferences from an individual based simulation model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *55*, 2244-2254.
- Lowerre-Barbieri, S.K., Gantias, K., Saborido-Rey, F., Murua, H., & Hunter, J.R. (2011). Reproductive Timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, *3*, 71-91.
- McGinnity, P., Prodohl, P., Ferguson, A., Hynes, R., O'Maoileidigh, N., Baker, N., ... Cross, T. (2003). Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic

- salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270, 2443-2450.
- McMillan, D.B. (2007). Fish histology: female reproductive systems. Dordrecht, The Netherlands: Springer-Verlag.
- Meager, J.J., Skjæraasen, J.E., Ferno, A., Karlsen, Ø., Løkkeborg, S., Michalsen, K. & Utskot, S.O. (2009). Vertical dynamics and reproductive behaviour of farmed and wild Atlantic cod *Gadus morhua*. *Marine Ecology Progress Series*, 389, 233–243.
- Molina, W.F., Benetti, D.D., Fiorentino, J.N., Lima-Filho, P.A., Alencar, C.E.R.D., Costa, G.W.W.F., ... Nóbrega, M.F. (2018). Early sex shape dimorphism (SShD) in *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766) and its application for monosex culture. *Aquaculture*, 495:320-327.
- Naylor, R., Hindar, K., Fleming, I.A., Goldberg, R., Williams, S., Volpe, J., ... Mangel, M. (2005). Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *BioScience*, 55, 427-437.
- Nhu, V.C., Nguyen, Q.H., Le, T.L., Tran, M.T., Sorgeloos, P., Dierckens, K., Reinertsen, H., ... Svennevig, N. (2011). Cobia *Rachycentron canadum* aquaculture in Vietnam: recent developments and prospects. *Aquaculture*, 315, 20-25.
- Pandian, T.J. & Sheela, S.G. (1995). Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture*, 138, 1-22.
- Peregrino Jr, R.B, Hamilton, S., Domingues, E.C., Manzella Jr, J.C., Hazin, F.H.V., Cavalli, R.O. (2014). Desempenho reprodutivo do beijupirá (*Rachycentron canadum*) capturado no litoral de Pernambuco. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66, 681-687.
- Puvanendran, V., Lein, I., Bangera, R., Mortensen, A. & Thorsen, A. (2019). Family differences on triploid induction, sexual maturation and its contribution to sea cage performance of Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 506: 14-22.
- Snyder, D.E. (1983). Fish eggs and larvae. In L.A. Nielsen & D.L. Johnson (Eds.), *Fisheries techniques* (pp. 165-197), Bethesda, USA: American Fisheries Society.
- Souza Filho, J.J., & Tosta, G.A.M. (2008). Bijupirá: As primeiras desovas da geração F1. *Panorama da Aquicultura*, 18 (110), 50-53.
- Stieglitz, J.D., Benetti, D.D., Hoenig, R.H., Sardenberg, B., Welch, A.W., & Miralao, S. (2012). Environmentally conditioned, year-round volitional spawning of cobia, *Rachycentron canadum* in broodstock maturation systems. *Aquaculture Research*, 43, 1557-1566.
- Utter, F. (2004). Population genetics, conservation and evolution in salmonids and other widely cultured fishes: some perspectives over six decades. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 125-144.
- Velde, T.D., Griffiths, S.P., & Fry, G.C. (2010). Reproductive biology of the commercially and recreationally important cobia *Rachycentron canadum* in northeastern Australia. *Fishery Science*, 76, 33-43.
- Weir, L.K., Hutchings, J.A., Fleming, I.A., & Einum, S. (2005). Spawning behaviour and success of mature male Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr of farmed and wild origin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 1153-1160.
- Yossa, R., Bardon-Albaret, A., Chiasson, M.A., Liu, Q., Duston, J., Manning, T & Benfey, T.J. (2019). Controlling preharvest maturity in farmed Arctic char: A review from the Canadian perspective. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50: 894-907.