



# FAURG

## FOLHA DE ROSTO PARA PRODUTOS DE COOPERAÇÃO TÉCNICA

Identificação			
Consultor(a) / Autor(a): Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FAURG)			
Número do Contrato: 22300028			
Nome do Projeto: PCT/BRA/IICA/16/001			
Oficial/Coordenador Técnico Responsável: Coordenador-Geral CGIE/SDI/MAPA			
Data /Local: Brasília – DF, 22 de agosto de 2023			
Classificação			
Temas Prioritários do IICA			
Agroenergia e Biocombustíveis		Sanidade Agropecuária	
Biotecnologia e Biosegurança		Tecnologia e Inovação	
Comércio e Agronegócio	x	Agroindústria Rural	x
Desenvolvimento Rural	x	Recursos Naturais	x
Políticas e Comércio	x	Comunicação e Gestão do Conhecimento	x
Agricultura Orgânica		Outros:	
Modernização Institucional	x		
Palavras-Chave: Avaliação de estoque, recursos pesqueiros, pesca artesanal.			
Resumo			
<b>Título do Produto:</b> Avaliação de Estoque de bagre-branco ( <i>Genidens barbus</i> ) nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil.			
Subtítulo do Produto:			
Relatório Técnico de Avaliação dos Estoque de bagre-branco ( <i>Genidens barbus</i> )			
no Sudeste e Sul do Brasil			

**Resumo do Produto:** O presente documento tem por objetivo apresentar o produto 02 a ser executado no âmbito do contrato de prestação de serviço técnico especializado celebrado entre o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande (FAURG). Este relatório apresenta a consolidação da avaliação de estoque do bagre-branco no sudeste e sul do Brasil.

**Qual Objetivo Primário do Produto?**

O objetivo desta contratação se fundamenta na necessidade da atualização da avaliação dos estoques de bagre-branco no sudeste e sul do Brasil, incluindo a revisão e aperfeiçoamento dos principais pontos de referência desse estoque, destacando-se o rendimento máximo sustentável (RMS), o limite biologicamente aceitável (LBA) e o limite de captura anual (LCA).

**Que Problemas o Produto deve Resolver?**

Este produto deve atualizar os principais pontos de referência existentes sobre o rendimento máximo sustentável (RMS), o limite biologicamente aceitável (LBA) e o limite de captura anual (LCA).

**Como se Logrou Resolver os Problemas e Atingir os Objetivos?**

O presente trabalho traz uma nova atualização da avaliação dos estoques Sudeste e Sul do bagre-branco considerando como base para análise a aplicação de modelos de dinâmica de biomassa (DB) com enfoque Bayesiano.

**Quais Resultados mais Relevantes?**

Os resultados mais relevantes foram a atualização para as estimativas de rendimento máximo sustentáveis (RMS), o limite biologicamente aceitável (LBA) e o limite de captura anual (LCA). Estes pontos de referência auxiliarão na tomada de decisão pelos gestores.

**O Que se Deve Fazer com o Produto para Potencializar o seu Uso?**

Os resultados deste produto podem ser utilizados para a definição de futuras tomadas de decisão para a gestão do bagre-branco. Os resultados devem ser apresentados nas diferentes instâncias de gestão para discussão e subsídios às decisões de gestão.

# **Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande**

## **Produto de Consultoria 02**

Projeto de Cooperação Técnica PCT/BRA/IICA/16/001 – “Modernização da gestão estratégica do MAPA para aperfeiçoar as políticas públicas de promoção do desenvolvimento sustentável, segurança alimentar e competitividade do agronegócio”.

Solicitação de Cotação Nº 151/2022

Contrato de prestação de serviços técnicos especializados para realização da Avaliação dos Estoques da Bagre-branco (*Genidens barbus*) no Sudeste e Sul do Brasil firmado entre o Instituto Interaamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA e a Fundação de Apoio à Universidade de Rio Grande.

Rio Grande, 2024



**Diretor Executivo da FAURG**

Ednei Primel

**Diretor Executivo da FAURG**

Humberto Camargo Piccoli

**Diretora Tesoureira da FAURG**

Débora Gomes de Gomes

**Diretora Tesoureira da FAURG**

Débora Gomes de Gomes

**Gestora de projetos da FAURG**

Vanessa Lemos da Silveira

**Coordenador do Contrato**

Prof. Dr. Luís Gustavo Cardoso



Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande

Relatório Técnico de Avaliação dos Estoques de bagre-branco (*Genidens barbus*) no Sudeste e Sul do Brasil.

**Pesquisadores / Equipe Técnica**

Prof. Dr. Luís Gustavo Cardoso

Dr. Eidi Kikuchi Santos

MSc. Giulia Elena Terlecki Lopes

Prof. Dr. Rodrigo Sant'Ana

**Colaborador**

Prof. Dr. Bruno Leite Mourato

## Sumário

1. Apresentação	4
2. Contextualização	5
3. Contextualização geral dos Modelos de Dinâmica de Biomassa (DB)	8
4. Implementação do modelo DB para o estoque sul	10
4.1. Análise Bayesiana	12
4.2. Definição dos cenários de avaliação	15
4.3. Resultados e discussão	17
4.3.1. Diagnóstico do modelo DB	17
4.3.2. Estimativas do modelo DB	19
4.3.3. Estado do estoque e opções de manejo	23
4.3.4. Projeções do modelo DB	28
5. Implementação do modelo DB para o estoque norte	30
5.1. Análise Bayesiana	32
5.2. Definição dos cenários de avaliação	33
5.3. Resultados e discussão	35
5.3.1. Diagnóstico do modelo DB	35
5.3.2. Estimativas do modelo DB	36
5.3.3. Estado do estoque e opções de manejo	40
6. Conclusões	45
6.1. Estoque sul do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira	45
6.2. Estoque norte do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira	46
Referências	47

## **Lista de Figuras**

- Figura 1.** Definição dos limites latitudinais ao longo da margem meridional brasileira adotados os estoques avaliados. O Estoques “Norte” foi delimitado entre as latitudes 21°30' e 28°53'S, ou seja, entre o norte do Rio de Janeiro e o Cabo de Santa Marta Grande, Santa Catarina. O Estoque “Sul” foi delimitado entre as latitudes 28°53'S e 33°45'S, ou seja, entre as latitudes do cabo de Santa Marta Grande e do Chuí, Rio Grande do Sul (obtido de Perez e Sant’Ana, 2022). 8
- Figura 2.** Série temporal de captura do estoque Sul (28°53' S a 33°45' S) do bagre-branco ao longo da Margem Meridional Brasileira, entre os anos de 1950 e 2023, obtida dos monitoramentos pesqueiros estaduais. A linha tracejada vermelha indica o último ano (2013) em que as capturas foram incorporadas ao modelo de avaliação. 16
- Figura 3.** Séries temporais de captura por unidade de esforço do estoque sul do bagre-branco (*Genidens barbus*) disponíveis entre os anos de 1976 à 2011. A linha tracejada vermelha indica o ano em que foi implementado quebra temporal nos índices. 17
- Figura 4.** Distribuição temporal dos resíduos dos modelos ajustados às séries de CPUE utilizadas no modelo de avaliação do estoque sul do bagre-branco. 18
- Figura 5.** Distribuição temporal dos erros do processo estimados para o modelo de avaliação do estoque sul do bagre-branco. 19
- Figura 6:** Distribuição das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis centrais) e  $B/K$  e excedente de produção (painéis inferiores) para cada um dos modelos ajustados. 21
- Figura 7:** Análise retrospectiva das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis centrais) e  $B/K$  e excedente de produção (painéis inferiores) para estoque sul do bagre-branco. 22
- Figura 8.** Distribuição posterior integrada / mista dos MSY's83% estimados para o cenário avaliado do estoque sul do bagre-branco. 24
- Figura 9.** Kobe plot apresentando a composição das distribuições posteriores para  $B_{2013}/B_{MSY}$  e do  $F_{2013}/F_{MSY}$  do cenário ajustado para o estoque sul do bagre-branco. O triangulo branco representa a mediana dos valores estimados para 2013. 25
- Figura 10.** Diagrama de decisão para determinação do Limite de Captura Anual (LCA) do estoque sul do bagre-branco. 26
- Figura 11.** Decaimento da estimativa do percentil do MSY em função do excedente de penalização por superestimação do K proposto para estoque sul do bagre-branco. 28
- Figura 12.** Trajetórias anuais projetadas de biomassa e mortalidade por pesca (painéis inferiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis superiores) para estoque sul do bagre-branco. 29
- Figura 13.** Séries temporais de captura por unidade de esforço do bagre-branco compiladas para o estoque norte. 31
- Figura 14.** Série Temporal de Captura do Estoque Norte (21°30' a 28°53' S) do Bagre-Branco ao Longo da Margem Meridional Brasileira. A linha tracejada indica a separação entre os dados reconstruídos de Freire et al. (2021) entre 1950-2015 e os dados do Monitoramentos Pesqueiros Estaduais entre 2016-2022. 34
- Figura 15.** Priors de depeleção ( $B_{2022}/K$ ) utilizadas em cada cenário de avaliação do estoque norte do bagre-branco. 35
- Figura 16.** Distribuição temporal dos erros do processo estimados para os cenários de avaliação do estoque norte do bagre-branco. 36

---

<b>Figura 17.</b> Distribuição das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores), $B/B_{MSY}$ e $F/F_{MSY}$ (painéis centrais) e $B/K$ e excedente de produção (painéis inferiores) para cada um dos cenários ajustados para o estoque norte do bagre-branco. _____	39
<b>Figura 18.</b> Trajetórias de $B_{annual}/B_{MSY}$ (esquerda) e $F_{annual}/F_{MSY}$ (direita) com 95% de intervalo de credibilidade (área cinza) para a distribuição conjunta dos três cenários considerados na avaliação do estoque norte do bagre-branco. _____	41
<b>Figura 19.</b> Distribuição posterior integrada / mista dos MSY's 99% estimados para os três cenários avaliados do estoque norte do bagre-branco. _____	42
<b>Figura 20.</b> Kobe plot apresentando a composição das distribuições posteriores para $B_{2022}/B_{MSY}$ e do $F_{2022}/F_{MSY}$ dos diferentes cenários ajustados para o estoque norte do bagre-branco. O ponto branco representa a mediana dos valores estimados para 2022. _____	43
<b>Figura 21.</b> Diagrama de decisão para determinação do Limite de Captura Anual (LCA) do estoque norte do bagre-branco. _____	44
<b>Figura 22.</b> Decaimento da estimativa do percentil do MSY em função do excedente de penalização por superestimação do K proposto para estoque norte do bagre-branco. _____	45

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1.</b> Resumo das funções de densidade probabilidade utilizadas como prioris dos parâmetros do modelo de dinâmica de biomassa Bayesianos utilizado para avaliação do estoque sul do bragre-branco. _____	14
<b>Tabela 2.</b> Resumo estatístico das distribuições posteriores marginais dos parâmetros estimados em cada um dos modelos DB de Pella & Tomlinson ajustados para o estoque sul do bagre-branco. _____	20
<b>Tabela 3.</b> Matriz de probabilidade do estoque sul do bragre-branco estar no quadrante verde do gráfico de Kobe (i.e., $B/B_{MSY} > 1$ e $F/F_{MSY} < 1$ ) para cada cenário de captura constante em cada ano projetado. _____	30
<b>Tabela 4.</b> Resumo das funções de densidade probabilidade utilizadas como prioris dos parâmetros do modelo de dinâmica de biomassa Bayesianos utilizado para avaliação do estoque norte do bragre-branco. _____	32
<b>Tabela 5.</b> Resumo estatístico das distribuições posteriores marginais dos parâmetros estimados em cada um dos modelos DB de Pella & Tomlinson ajustados à cada cenário avaliado para o estoque norte do bagre-branco. _____	37

## 1. Apresentação

O presente documento tem por objetivo apresentar o produto 02 a ser executado no âmbito do contrato de prestação de serviço técnico especializado celebrado entre o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) e a Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande (FAURG). Este relatório traz os resultados das avaliações do estado de exploração dos estoques do bagre-branco (*Genidens barbus*) no Sudeste e Sul do Brasil até o ano 2023.

O objetivo desta contratação se fundamenta na necessidade da atualização da avaliação dos estoques do bagre-branco, incluindo a revisão e aperfeiçoamento dos principais pontos de referência desses estoques, destacando-se o rendimento máximo sustentável (RMS), o limite biologicamente aceitável (LBA) e o limite de captura anual (LCA).

Este contrato está alinhado ao Projeto de Cooperação Técnica PCT/BRA/IICA/16/001. Este ainda tem como ideia geral trazer o aperfeiçoamento das políticas públicas de promoção do desenvolvimento sustentável, segurança alimentar e competitividade do agronegócio do país.

Neste contexto, a presente contratação se permeia na promoção de conhecimentos técnicos e informações que auxiliem nos processos de tomada de decisão, respeitando-se os preceitos da sustentabilidade ambiental, que são fortemente encorajados e considerados, bem como na fundamentação do objetivo central desta consultoria que traz determinação e atualização de parâmetros que visem a exploração responsável e sustentável do bagre-branco no Sudeste e Sul do Brasil.

## 2. Contextualização

As capturas de bagre-branco, *Genidens barbus* (Lacépède 1803), assumem grande importância na pesca artesanal nos litorais Sul e Sudeste do Brasil, devido às áreas de ocorrência desse conjunto de espécies serem costeiras e estuarinas (Mendonça et al., 2017). Antigamente, do início dos anos 1950 ao início dos anos 1980, a espécie representava um importante recurso principalmente no sul do Brasil com capturas oscilando entre aproximadamente, 4.000 e 12.000 toneladas anuais (Gomes e Araújo, 2004; Reis, 1986; Velasco et al., 2007, Haimovici & Cardoso, 2017), sendo o segundo recurso pesqueiro mais importante explorado no estuário da Lagoa dos Patos, atrás apenas da corvina *Micropogonias furnieri* (Desmarest 1823) (Reis, 1986; IBAMA, 1993). Posteriormente, os rendimentos caíram de forma significativa, oscilando entre 4.000 e 6.000 toneladas anuais até 1994, quando há nova queda brusca na produção, que se mantém mais ou menos estável abaixo das 2.000 toneladas até 2017 (Mourato e Martins, 2017). Em resposta ao declínio dramático nos desembarques, o bagre-branco foi classificado como “Em Perigo” pela Portaria MMA nº 445/2014 e adicionado à Lista da Fauna Brasileira Ameaçada, proibindo sua captura, transporte e armazenamento para todo o Brasil em 2015.

No entanto, no Estado de São Paulo, os dados de monitoramento indicavam estabilidade de seu recurso nessa área (Mendonça et al., 2017). Embora tenha sido proposta uma recategorização da espécie como "Vulnerável" ao Ministério do Meio Ambiente, conforme o Artigo 3º da Portaria MMA nº445/2014, essa proposta foi rejeitada. No entanto, um laudo técnico possibilitou a inclusão do bagre-branco como uma espécie sujeita a ordenamento (Portaria MMA nº 98, de 28 de abril de 2015), o que abriu caminho para a elaboração e publicação de um “Plano de Recuperação para os Bagres *Genidens barbus* e *Genidens planifrons*” ([https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/manejo-e-uso-sustentavel/arquivos/plano\\_de\\_recuperacao\\_dos\\_bagres-marinhos.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/manejo-e-uso-sustentavel/arquivos/plano_de_recuperacao_dos_bagres-marinhos.pdf)).

Posteriormente, a Portaria MMA 161, de 20 de abril de 2017, permitiu a captura da espécie por mais um ano nessa região, durante o qual o Plano de Recuperação seria revisado e potencialmente publicado. No ano seguinte, em 2018, a pesca ordenada do Bagre-branco foi autorizada nos estados de São Paulo e Paraná. A Portaria MMA nº 127/2018, publicada no Diário Oficial da União em 30 de abril, assegura essa atividade exclusivamente para os pescadores artesanais desses estados, para quem o bagre-branco representa uma das principais fontes de renda. Além disso, foram estabelecidos períodos de restrição da pesca, como o defeso da espécie de janeiro a março (Portaria SUDEPE 42/84) e a proibição da captura nos rios durante a piracema (de 01 de novembro a 28 de fevereiro) nas Bacias do Rio Paraná e do Atlântico Sudeste. Também foi implementado um aumento no tamanho mínimo de captura para 45 cm, visando maximizar o potencial reprodutivo da espécie e garantir a sustentabilidade dos estoques. A pesca industrial foi proibida, com uma tolerância de apenas 5% do volume total desembarcado.

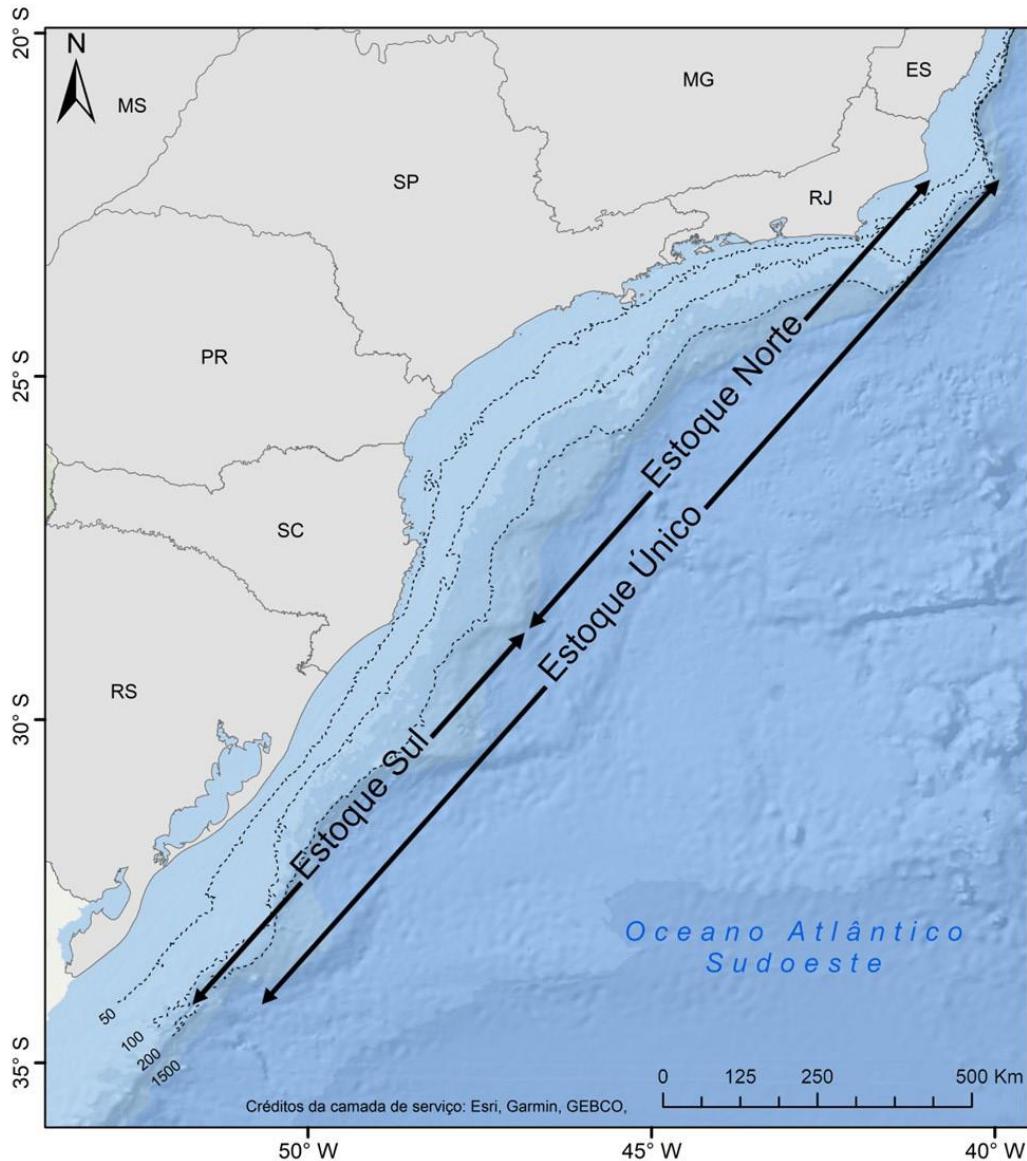
Um importante aspecto a ser considerado é a carência de informações contínuas e confiáveis sobre a remoção de biomassa e o esforço pesqueiro aplicados sobre os estoques de bagre-branco. A proibição das capturas no Sul do Brasil em 2015, decorrente da inclusão na lista de espécies ameaçadas de extinção, acentuou esse desafio visto que as capturas continuam ocorrendo ilegalmente ou mesmo com descartes de indivíduos mortos à bordo. A proibição de desembarques, aliado à complexidade e a diversidade das diferentes modalidades de pesca empregadas no mar aberto e nos estuários, envolvendo embarcações e equipamentos de diferentes tamanhos e capacidades, complicaram significativamente o processo de monitoramento destes estoques. Esse cenário se traduz na falta de consistência e disponibilidade de informações, refletida na disparidade de dados entre as diversas frotas/pescarias, além da existência de lacunas e interrupções nas séries temporais de captura e esforço de pesca.

Ainda, cabe ressaltar que no Brasil, enfrentamos desafios relacionados às deficiências de identificação de espécies dos sistemas de monitoramento de

desembarques pesqueiros. Nesse sentido, as 21 espécies da família Ariidae, que ocorrem com ampla distribuição ao longo da costa brasileira (Figueiredo e Menezes, 1978; Menezes et al., 2003; Schmidt et al., 2008), majoritariamente são agrupadas sob a categoria genérica "bagre" nos dados estatísticos reportados. Essa generalização dificulta uma análise precisa e detalhada do estado de conservação dessas espécies. Um exemplo disso é o caso da classificação do Bagre-branco como "Em Perigo – EN" (MMA, 2014), baseado em dados de monitoramento pesqueiro cujos métodos de coleta não abordam adequadamente a principal questão relacionada aos Ariidae: a correta identificação das espécies (Mendonça et al., 2017).

Diante de todas essas particularidades e potenciais fontes de incerteza, torna-se essencial a necessidade do levantamento de subsídios para geração de pontos de referências biológicos atualizados e contínuos que considerem todos esses aspectos. Neste sentido, avaliar a atual situação do estoque, em função das informações existentes, e estimar indicadores de esforço e produção sustentáveis para esta população, parece ser o caminho mais viável e rápido para garantir recomendações funcionais e adicionais aos processos de manejo e gestão dos estoques de bagre-branco no Sudeste e Sul do Brasil.

Neste sentido, o presente trabalho traz um novo panorama da avaliação dos estoques Norte e Sul do bagre-branco (**Figura 1**) considerando os limites longitudinais propostos por Perez e Sant'Ana (2022) ao longo margem meridional brasileira. Para isso foi considerando como base para análise a aplicação de modelos de dinâmica de biomassa (DB) com enfoque Bayesiano.



**Figura 1.** Definição dos limites latitudinais ao longo da margem meridional brasileira adotados os estoques avaliados. O Estoque “Norte” foi delimitado entre as latitudes 21°30' e 28°53'S, ou seja, entre o norte do Rio de Janeiro e o Cabo de Santa Marta Grande, Santa Catarina. O Estoque “Sul” foi delimitado entre as latitudes 28°53'S e 33°45'S, ou seja, entre as latitudes do cabo de Santa Marta Grande e do Chuí, Rio Grande do Sul (obtido de Perez e Sant'Ana, 2022).

### 3. Contextualização geral dos Modelos de Dinâmica de Biomassa (DB)

Modelos de dinâmica de biomassa (DB) também são conhecidos como modelos

de excedente de produção, em casos especiais, também podem ter estrutura espaço-estado que, por sua vez, são versões particulares de modelos hierárquicos. Quando implementados à luz da abordagem Bayesiana, modelos DB possibilitam incorporar simultaneamente as incertezas contidas tanto na dinâmica do processo de produção de biomassa (*process error*), quanto o erro atrelado ao processo observacional dos índices de abundância (*observation error*). A abordagem Bayesiana possibilita ainda uma aferição direta das incertezas nas estimativas de parâmetros e nas previsões de biomassas futuras através de distribuições de probabilidade que são de fácil interpretação e estruturas formais para análise de decisão em presença de incertezas que, por sua vez, se traduzem em premissas essenciais para análises de risco e muito úteis no processo de tomada de decisão que envolve a gestão pesqueira.

Em termos gerais, modelos DB não necessitam de detalhamentos analíticos específicos (*i.e.* estudos aprofundados sobre características biológicas do estoque avaliado) (Gulland, 1983). Este tipo de modelo considera a biomassa do estoque como um bloco único sem estruturação dos indivíduos por tamanho, idade, ou sexo. Sua aplicação visa determinar um nível ótimo de biomassa capaz de produzir um rendimento máximo dentro de um cenário de sustentabilidade da pescaria e do estoque explorado (Gulland, 1983; Hilborn e Walters, 1992).

Ludwig e Walters (1985, 1989) mostraram que análise com base em modelos DB podem ser mais eficientes para as estimativas de pontos de referência para o manejo de recursos pesqueiros em comparação com os modelos estruturados por idade. Até mesmo quando importantes parâmetros de crescimento e seletividade são conhecidos, os modelos mais complexos se mostraram menos robustos. Por outro lado, Hilborn (1979) em um estudo comparativo com diferentes séries de dados em modelos DB, observou que a falta de contraste na série histórica de esforço de pesca e a abundância do estoque podem dificultar a obtenção de estimativas precisas.

O menor requerimento de dados de modelos DB em comparação com outros modelos analíticos que exigem, por exemplo, o conhecimento da estrutura etária ou de comprimento, curvas de crescimento, taxas de mortalidade, seletividade e fecundidade,

pode ser considerado uma vantagem deste tipo de abordagem quando as informações acima são ausentes. Modelos DB dependem apenas de séries temporais confiáveis e suficientemente longas para produzir contrastes de produção (*i.e.*, capturas totais) e/ou de um ou mais índices de abundância (*i.e.* informações de captura por unidade de esforço - CPUE). A partir dessas informações é possível ajustar os modelos DB e obter estimativas acuradas dos parâmetros atrelados ao estoque estudado, incluindo importantes pontos de referência ao manejo pesqueiro (Sparre e Venema, 1997).

#### **4. Implementação do modelo DB para o estoque sul**

Os modelos de Dinâmica de Biomassa (DB) utilizados na avaliação do estoque sul, incorpora tanto as aleatoriedades na dinâmica do processo (*i.e.* biomassa) quanto os erros observacionais na quantificação das taxas de captura (*i.e.* CPUE) (vide Millar e Meye, 2000). Utiliza-se nesta análise um modelo com duas séries de CPUE produzidas em pescarias independentes (*i.e.*, arrasto de parelhas e arrasto simples), porém todas atuando sobre o mesmo estoque sul do bagre-branco.

A dinâmica de biomassa foi definida como sendo uma função da variação temporal-discreta (*i.e.* variação anual), onde a biomassa de um determinado ano ( $B_t$ ) é dependente da biomassa no ano anterior ( $B_{t-1}$ ), da captura total do ano anterior ( $C_{t-1}$ ), da taxa de crescimento intrínseco da população ( $r$ ), da capacidade de suporte do estoque ( $K$ ) e do parâmetro de forma ( $m$ ), conforme proposto por Pella & Tomlinson (1969). Este parâmetro de forma determina a biomassa que produz o máximo excedente de produção sustentável ( $B_{MSY}$ ) em relação a  $K/2$ . Este máximo será identificado no restante deste Relatório como *MSY* referente a sua sigla em inglês (*Maximum Sustainable Yield*). Valores de  $m$  no intervalo  $0 < m < 2$  implicam  $B_{MSY} < K/2$ , com desigualdade invertida quando  $m > 2$ . Para  $m = 2$ , o modelo de Pella & Tomlinson (1969) se reduz ao modelo clássico proposto por Schaefer (1957) para o qual  $B_{MSY} = K/2$ ; ou seja, a biomassa que geraria o rendimento máximo sustentável é exatamente a metade da capacidade de suporte. Quando  $m$  se aproxima da unidade 1, o modelo se aproxima do modelo de Fox para o qual  $B_{MSY} = 0,37 * K$ ; embora não há solução exata quando  $m$

= 1. A assimetria em relação ao modelo (simétrico) de Schaefer (1957), expressa pelo parâmetro  $m$ , é uma medida de denso-dependência da população (Chaloupka e Balazs, 2007). A parametrização apresentada neste relatório segue Winker et al. (2018):

$$B_t = B_{t-1} + \frac{r}{m-1} \cdot B_{t-1} \left( 1 - \left( \frac{B_{t-1}}{K} \right)^{m-1} \right) - C_{t-1} \quad \text{equação (1)}$$

A biomassa  $B$  foi reparametrizada em função da capacidade de suporte  $K$ , fazendo com que a biomassa relativa ( $P = B/K$ ) fosse definida como uma fração da capacidade de suporte  $K$ , limitada entre 0 e 1. Estabelecemos como parâmetro  $\varphi = B_1/K$  a fração de  $K$  referente a biomassa do primeiro ano da série ( $t = 1$ ). Esta reparametrização é computacionalmente conveniente porque melhora a eficiência do algoritmo de Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC - *Markov Chain Monte Carlo*), que foi utilizado para estimar os parâmetros do modelo por meio de uma abordagem Bayesiana (Millar e Meyer, 2000; Brodziak e Ishimura, 2011). Também foi incorporada a incerteza associada a esta dinâmica com a variável aleatória  $\omega_t$  seguindo distribuição Gaussiana com média zero e variância  $\sigma_\omega^2$ . Assim, o modelo de Pella e Tomlinson apresenta a seguinte reparametrização:

$$P_t = \left( P_{t-1} + \frac{r}{m-1} \cdot P_{t-1} (1 - (P_{t-1})^{m-1}) - \frac{C_{t-1}}{K} \right) * e^{\omega_t} \quad \text{equação (2)}$$

A segunda componente dos modelos DB (*i.e.* modelo observacional), foi estruturada sobre duas séries de captura por unidade de esforço (CPUE) provenientes das pescarias de arrasto de parelhas e arrasto duplo que, embora distintas, atuam sobre o estoque sul do bragre-branco. Diferenças entre as pescarias se caracterizam em termos de (a) modalidade de pesca utilizada, (b) áreas de operação sobre o estoque, (c) magnitude ou classificação de pesca, e; (d) período cronológico em anos. Para tal, estabeleceu-se que as CPUEs observadas para o ano  $t$  e pescaria  $i$  ( $I_{t,i}$ ) estivessem associadas a biomassa do estoque  $B_t$  por meio dos coeficientes de capturabilidade  $\phi_i$ .

$$I_{t,i} = \phi_i \cdot B_t \cdot e^{\nu_{t,i}} \quad \text{equação (3)}$$

ou

$$I_{t,i} = \phi_i \cdot K \cdot P_t \cdot e^{\nu_{t,i}} \quad \text{equação (4)}$$

sendo os erros observacionais associados aos valores de CPUE para a pescaria  $i$  modelados por variáveis aleatórias  $\nu_{t,i}$ , seguindo distribuição Gaussiana com média zero e variância  $\sigma_{\nu_i}^2$ . O coeficiente de capturabilidade determina o poder da pescaria  $i$  em termos da quantidade de biomassa capturada por unidade de esforço. Fazemos ainda a suposição de que, condicionado a  $B_t$  (ou  $P_t$ ), os erros aleatórios no ano  $t$  são independentes entre pescarias. Exceto a suposição de independência feita acima, a estruturação de incertezas na dinâmica de biomassa bem como dos erros observacionais associados as CPUEs é análoga ao que tem sido utilizado por outros autores (McAllister e Kirkwood, 1998; Meyer e Millar, 1999; Punt, 2003; Chaloupka e Balazs, 2007; Brodziak e Ishimura, 2011).

Diferentes séries de CPUE podem ter padrões temporais distintos entre si, mesmo que estejam todas associadas a biomassa de um único estoque. Por exemplo, se o estoque tem um estrutura espacial não-homogênea a biomassa pode estar se reduzindo em alguma região em detrimento do aumento em outra, sem que a biomassa total se altere. Se, simultaneamente, distintas pescarias atuam localmente sobre essas distintas frações do estoque, espera-se um padrão temporal diferenciado nas CPUEs mesmo que ambas se associam corretamente ao mesmo estoque subjacente. Em contraste, pode haver ruptura ou mudança na relação entre o CPUE e a biomassa causadas por mudanças no poder de pesca (e alteração em  $\phi$ ) com a introdução de novos equipamentos, mudanças nas normativas para exploração (e.g. defeso ou áreas de exclusão) ou mudanças nas estratégias de exploração utilizadas pelos pescadores. Espera-se que a harmonização, em um modelo DB único, de todas essas séries de CPUE com uma única série temporal de dinâmica de biomassa, seja melhor que a seleção arbitrária de uma única série “representativa” de CPUE e também, melhor que a conversão artificial das múltiplas séries de CPUE a uma série de referência padronizada.

#### 4.1. Análise Bayesiana

A análise Bayesiana dos modelos de DB consiste em estimar os seus parâmetros

por meio de distribuições de probabilidades denotadas “distribuições posteriores” no jargão técnico (Gelman et al., 2004; Kinas e Andrade, 2010). Pelo Teorema de Bayes, distribuições posteriores são obtidas pelo produto da função de verossimilhança dos dados com a distribuição de probabilidade prévia (priori). As distribuições de probabilidade priori expressam o conhecimento prévio (externo aos dados) sobre os parâmetros a serem estimados. Parâmetros para os quais não existe nenhum conhecimento prévio confiável, utilizam-se de distribuições de probabilidade não-informativas e vagas para descrição de incertezas prévias.

As diferenças entre as abordagens Bayesiana e a frequentista convencional, bem como as reconhecidas vantagens da análise Bayesiana, podem ser consultadas na literatura técnica da área (Wakefield, 2013; Kruschke, 2014) e não serão elencadas aqui pois fogem ao escopo deste relatório. Importante é destacar apenas que as distribuições posteriores são a expressão mais completa possível das estimativas dos parâmetros e suas incertezas pela integração do conhecimento prévio relevante que esteja disponível com as evidências trazidas pelos dados utilizados no momento da inferência.

Para o modelo de Pella & Tomlinson ser ajustado aos dados de  $n$  CPUEs oriundas de diferentes pescarias, é necessário estimar os parâmetros  $\varphi$ ,  $K$ ,  $r$ ,  $m$ ,  $\sigma_{proc}^2$  para a dinâmica da biomassa, e  $\phi_i, \sigma_{\nu_i}^2$  para cada uma das pescarias utilizadas como dinâmica observacional para descrição do comportamento da biomassa do estoque. No modelo completo isto resulta em um total de  $5 + 2n$  parâmetros sobre os quais as distribuições prioris precisam ser definidas. Além disto, são variáveis latentes (a serem estimadas pelo modelo), as biomassas  $P_t$  para  $t = 2, \dots, t$ , representando a série temporal analisada do segundo até o último ano.

As prioris foram definidas de modo que sejam pouco informativas (*i.e.* prioris vagas), porém com uma estrutura matemática conveniente (*e.g.* lognormal) para facilitar a convergência do algoritmo computacional de *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) a ser utilizado para obter as posteriores (Gelman et al., 2004) (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Resumo das funções de densidade probabilidade utilizadas como prioris dos parâmetros do modelo de dinâmica de biomassa Bayesianos utilizado para avaliação do estoque sul do bragre-branco.

Parâmetro	Distribuição	$\mu$	C.V.
r	lognormal	0,088	0,185
k	lognormal	81480 (i.e., 8 vezes a capturam máxima)	1
$\phi = B1950 / K$	lognormal	0,8	0,1
$\phi$	uniforme	1.0 E-10	1
$\sigma_{proc}^2$	inverse-gamma	0,001	0,001
$\sigma_{obsi}^2$	inverse-gamma	0,001	0,001

Adicionalmente à estrutura de prioris, o modelo foi ajustado considerando uma fonte de variação nos dados de captura, visto toda a incerteza existente nas informações de captura total da espécie. Para isto, foi considerado um coeficiente de variação de 10%, considerando que as capturas totais podem ser subestimadas. Ainda quanto a estrutura do modelo, como *proxy* para o parâmetro de forma do modelo de Pella & Tomlinson ( $m$ ) foi utilizada a relação entre este parâmetro e a razão entre  $B_{MSY}/K$  conforme a equação 2 em Winker et al. (2018). Isto é,

$$B_{MSY} = K m^{\frac{-1}{m-1}} \quad \text{equação (5)}$$

Mas, como tanto  $B_{MSY}$  quanto  $K$  são parâmetros desconhecidos a serem estimados, assim também será desconhecido  $m$ . Portanto, o valor  $m$  pode ser fixado em função da razão entre as medianas (ou médias) das distribuições prioris de  $B_{MSY}$  e de  $K$ ; ou, alternativamente, ter seus níveis de incerteza modelado também, por meio de uma distribuição priori lognormal. Na presente análise, a razão entre  $B_{MSY}/K$  foi fixada em 0.33.

Na parametrização de Winker et al. (2018) o *MSY* é obtido como função de  $r$ ,  $K$  e  $m$ . Ou seja:

$$MSY = r K m^{\frac{-m}{m-1}} \quad \text{equação (6)}$$

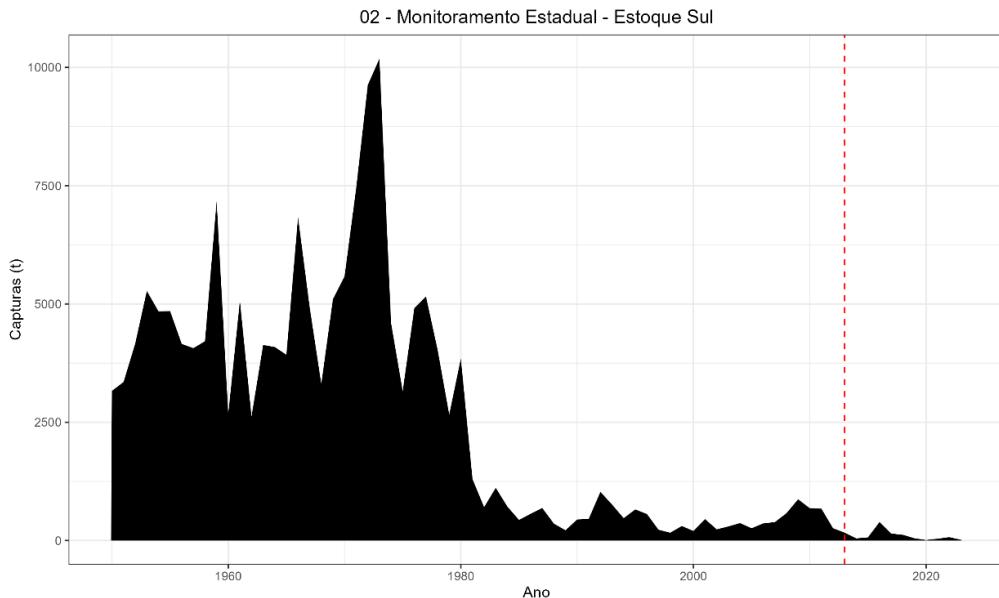
Já a taxa de mortalidade por pesca é a razão entre a captura  $C$  e a biomassa correspondente  $B$ . Ou seja, tem-se que:

$$F_{MSY} = \frac{MSY}{B_{MSY}} = \frac{r}{m} \quad \text{equação (7)}$$

As distintas séries de CPUE, além de tratarem de pescarias diferentes, também têm janelas temporais distintas e que são automaticamente incorporadas no modelo. Desta forma pode-se maximizar o aproveitamento dos dados trazidos de várias pescarias.

#### **4.2. Definição dos cenários de avaliação**

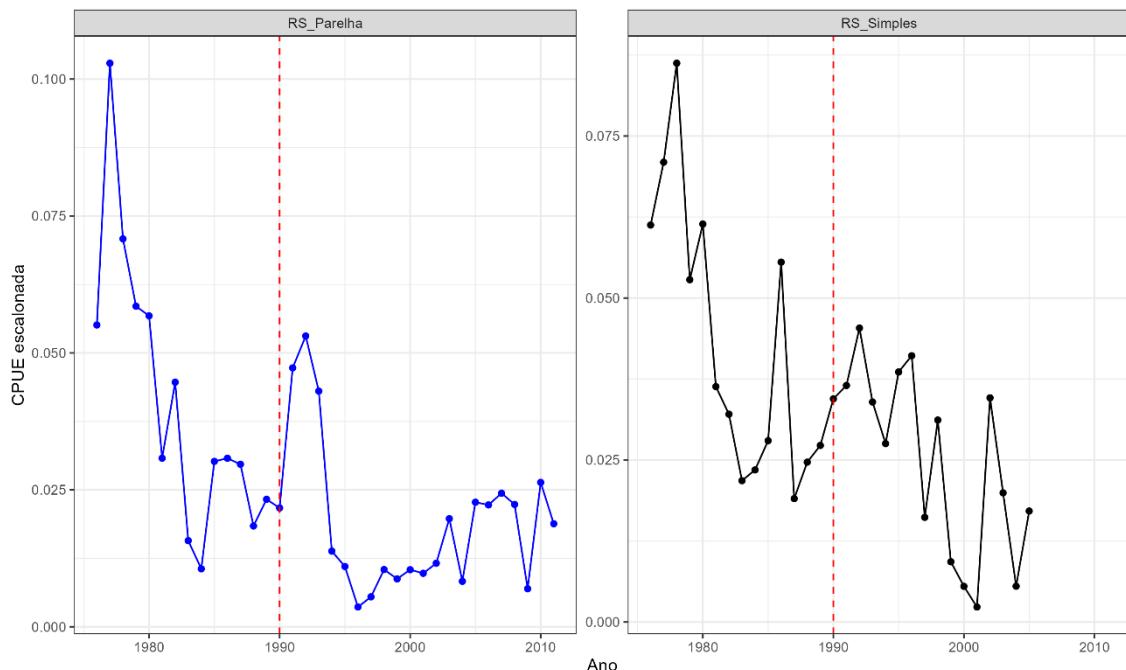
Foi implementado um cenário de avaliação para o estoque sul do bagre-branco considerando os dados de captura da Série 2 (produto 1), obtidos pelos monitoramento estaduais. Essa série começa em 1950 e termina em 2023. No entanto, após a restrição da pesca, os registros de capturas se tornaram inconsistentes e duvidosos, já que nenhum dado de captura foi reportado no estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma, para elaborar o modelo de avaliação do estoque sul, foram considerados apenas os dados de captura compilados dos monitoramentos estaduais entre 1950 e 2013, período em que os registros ainda eram reportados de forma consistente, tanto no estado de Santa Catarina quanto no Rio Grande do Sul (**Figura 2**).



**Figura 2.** Série temporal de captura do estoque Sul ( $28^{\circ}53' S$  a  $33^{\circ}45' S$ ) do bagre-branco ao longo da Margem Meridional Brasileira, entre os anos de 1950 e 2023, obtida dos monitoramentos pesqueiros estaduais. A linha tracejada vermelha indica o último ano (2013) em que as capturas foram incorporadas ao modelo de avaliação.

Em relação aos índices de abundância, foram compiladas 2 séries distintas referentes as frotas de arrasto de parelha e arrasto simples (**Figura 3**). Para composição dos modelos de dinâmica de biomassa do estoque sul, optou-se pela separação das séries temporais em dois blocos distintos entre o ano 1990. Essa separação foi necessária devido às mudanças marcadas no padrão da tendência temporal desses índices entre os dois blocos distintos, as quais podem estar sendo influenciados por inúmeros fatores, destacando-se: (a) hiperestabilidade ocasionada pela agregação do estoque durante o evento reprodutivo; (b) disponibilidade do recurso às diferentes pescarias; (c) variações climáticas interanuais que podem afetar os padrões de migração reprodutiva da espécie, seja no seu o deslocamento latitudinal (migração Sul - Norte) ou ainda, na sua proximidade à linha de costa durante a migração latitudinal (migração interna ou externa), e ainda; (d) alterações das estratégias de pesca ao longo do tempo. Por essas razões, é plausível assumir que a capturabilidade do bagre sofreu alterações ao longo do tempo, e o nosso modelo foi ajustado para capturar esse efeito e, portanto, com a

estimação de dois valores do parâmetro  $\phi_i$ , para as pescarias associadas às séries de CPUE.



**Figura 3.** Séries temporais de captura por unidade de esforço do estoque sul do bagre-branco (*Genidens barbus*) disponíveis entre os anos de 1976 à 2011. A linha tracejada vermelha indica o ano em que foi implementado quebra temporal nos índices.

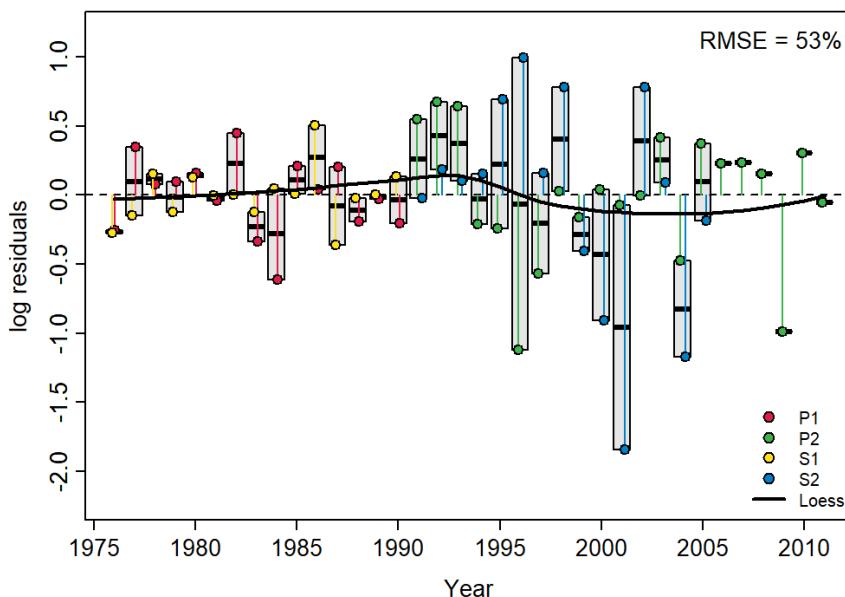
#### 4.3. Resultados e discussão

##### 4.3.1. Diagnóstico do modelo DB

Os diagnósticos realizados sobre o modelo ajustado ( $\hat{R} \approx 1,1$ ) confirmaram tanto a convergência dos processos de Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC) quanto a robustez nas estimativas dos parâmetros ajustados. Estes fatos sugerem que os valores simulados para os parâmetros do modelo constituem uma boa expressão da sua distribuição posterior.

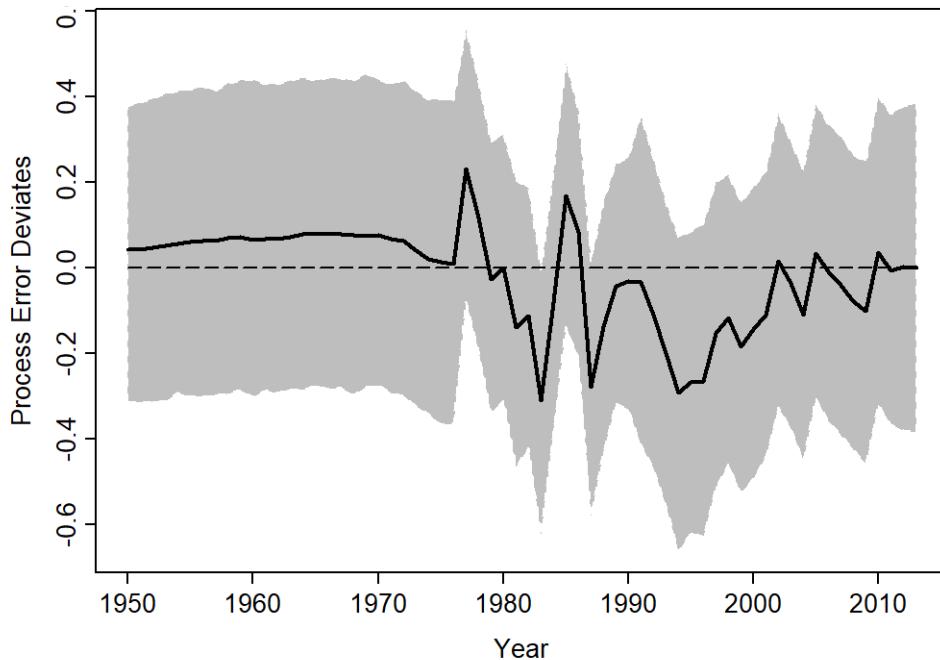
A análise dos resíduos do componente observacional do modelo de DB Bayesianos com estrutura espaço-estado demonstrou um valor da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE, do inglês *Root Mean Squared Error*) foi relativamente altos (**Figura 4**), no

entanto, é esperado para o caso de modelos ajustados com séries de CPUE não padronizadas a priori. No entanto, apesar do alto valor de RMSE, o comportamento dos resíduos aparente apresenta uma variação randômica, sem tendências evidentes ao longo da série temporal.



**Figura 4.** Distribuição temporal dos resíduos dos modelos ajustados às séries de CPUE utilizadas no modelo de avaliação do estoque sul do bagre-branco.

No caso da outra componente de erro no modelo espaço-estado, o erro do processo, o comportamento observado foi satisfatório. Embora a tendência central tenha apresentado grandes oscilações ao longo da série histórica, este comportamento não foi significativo, uma vez que o intervalo de credibilidade de 95% sempre cobre o valor 0 para o modelo ajustado (**Figura 5**).



**Figura 5.** Distribuição temporal dos erros do processo estimados para o modelo de avaliação do estoque sul do bagre-branco.

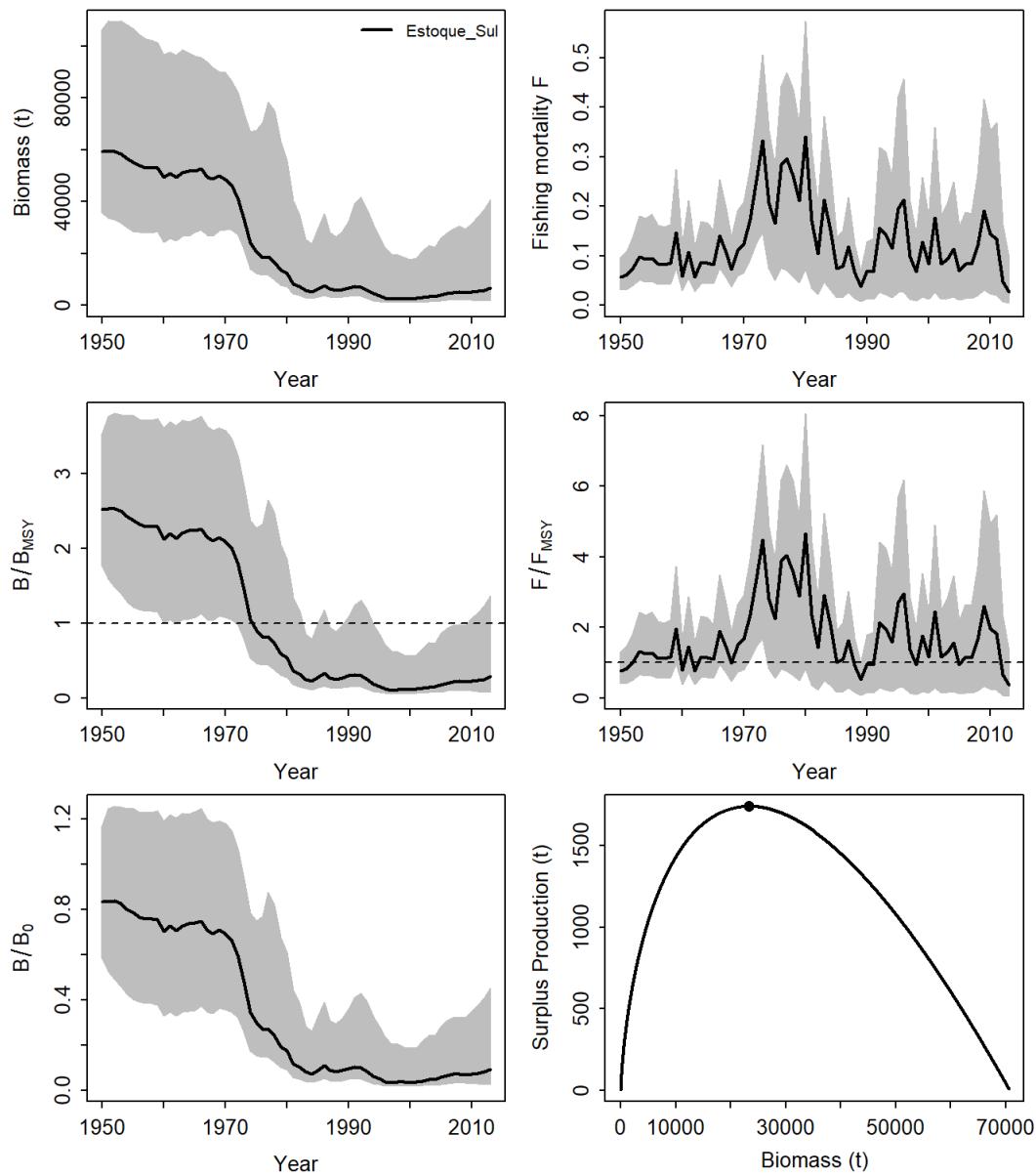
#### 4.3.2. *Estimativas do modelo DB*

As posteriores do modelo ajustado para o cenários avaliado para o estoque sul do bagre-branco se encontra na **Tabela 2**. Os parâmetros do modelo de Pella & Tomlinson ajustados neste trabalho (e.g. capacidade suporte do estoque –  $K$  e crescimento populacional intrínseco –  $r$ ) apresentou um valor mediano de  $K$  em 70.722 t e o  $r$  estimado em 0.06. A estimativa do *status* do estoque sul em 2013 ( $B_{2013}/K$ ) encontrava-se à 9% da sua capacidade suporte. Em geral, a biomassa atual ( $B_{2013}$ ) do estoque está 28% abaixo da biomassa que produz rendimento máximo sustentável ( $B_{MSY}$ ) (**Tabela 2**). Em contrapartida, a taxa de exploração em 2013 ( $F_{2013}$ ) foi estimada consideravelmente abaixo do sustentável para o estoque, estimada em  $F_{2013}/F_{MSY} = 0.36$  (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Resumo estatístico das distribuições posteriores marginais dos parâmetros estimados em cada um dos modelos DB de Pella & Tomlinson ajustados para o estoque sul do bagre-branco.

Estimativa	Estoque Sul		
	Mediana	2,5%	97,5%
$K$	70722,31	48329,75	122827,9
$r$	0,060422	0,04475	0,083692
$\psi$ (psi)	0,800211	0,777715	0,8216
$\sigma_{proc}^2$	0,197	0,157	0,214
$m$	0,811	0,811	0,811
$F_{MSY}$	0,075	0,055	0,103
$B_{MSY}$	23344,54	15953,04	40543,92
$MSY$	1737,142	1159,312	3218,373
$B_{1950}/K$	0,834	0,585	1,167
$B_{2013}/K$	0,094	0,03	0,45
$B_{2013}/B_{MSY}$	0,285	0,089	1,365
$F_{2013}/F_{MSY}$	0,361	0,94	4,51

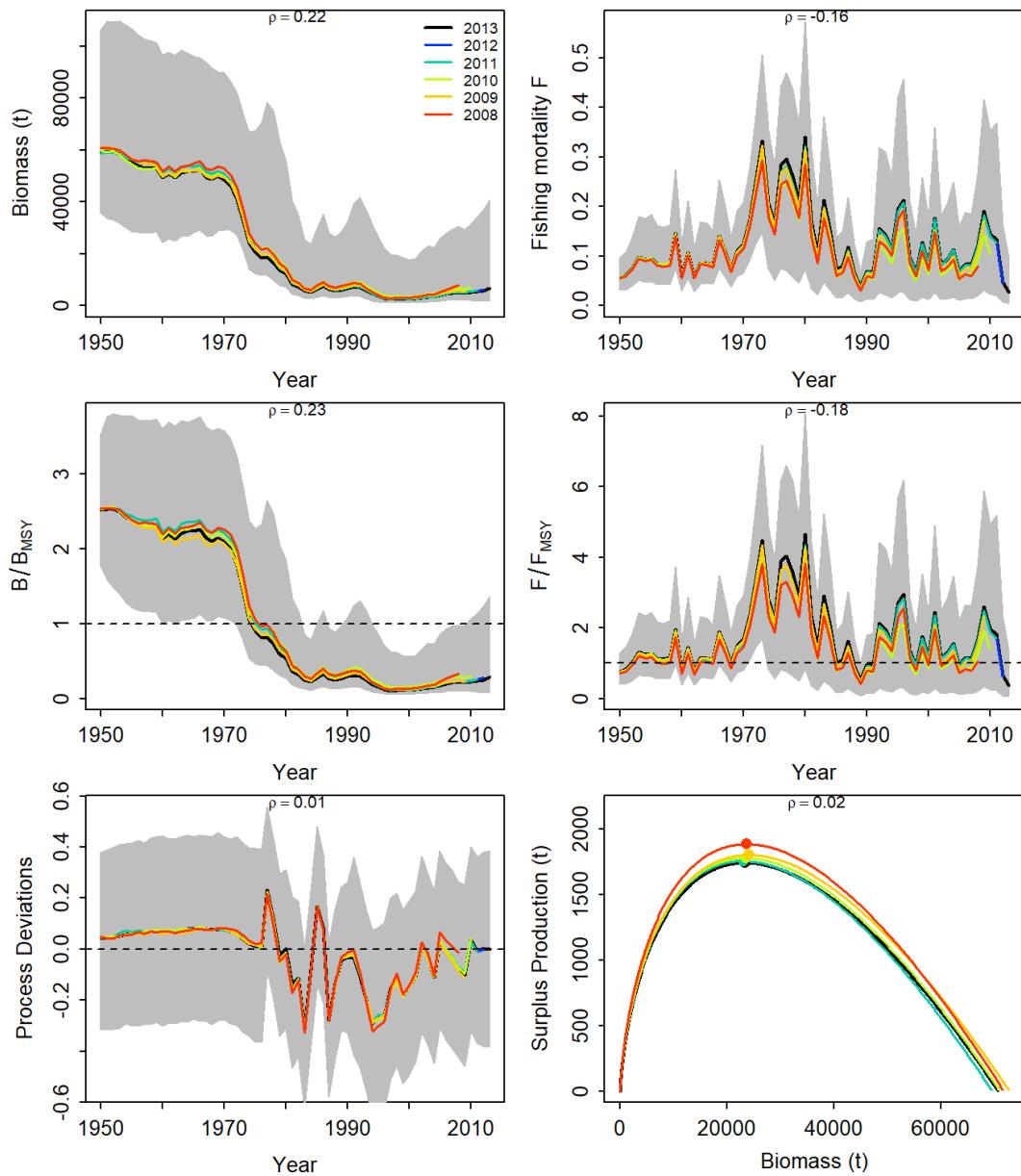
A dinâmica dos parâmetros de gestão do modelo pode ser visualizada na **Figura 6**. A biomassa do estoque apresentou uma diminuição contínua ao longo da série histórica até meados dos anos 2000, após o qual se estabilizou até o último ano avaliado. Em geral, este tipo de comportamento pode ser referenciado como “*one-way downhill trip*” (Hilborn, 1979; Hilborn e Walters, 1992), onde a biomassa do estoque segue um decréscimo contínuo ao longo do tempo acompanhada do aumento expressivo do esforço pesqueiro exercido sobre o recurso. Analisando a relação entre o excedente de produção e o estado atual do estoque (**Figura 6**), é estimado que, com a biomassa em 2013 em apenas 9,4% de sua capacidade de suporte, haverá uma redução nos excedentes de produção gerados pelo recurso, impactando diretamente os rendimentos máximos da espécie.



**Figura 6:** Distribuição das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis centrais) e  $B/K$  e excedente de produção (painéis inferiores) para cada um dos modelos ajustados.

A **Figuras 7** apresentam os resultados da análise retrospectiva conduzida sobre 5 (cinco) anos consecutivos para o modelo ajustado. Em todos os cenários é possível observar uma baixa tendência temporal, demonstrando poucas oscilações do comportamento da dinâmica de biomassa em função da remoção consecutiva de cada ano da série. Este comportamento denota que os dados mais recentes exercem uma

baixa influência no comportamento do modelos ajustado. Para todos os casos, os valores estimados na análise retrospectiva encontram-se dentro dos intervalos de credibilidade.



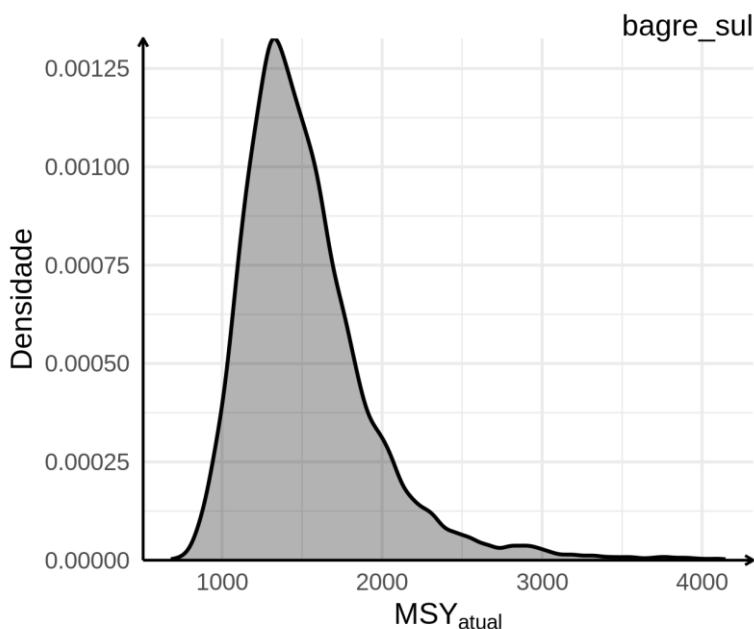
**Figura 7:** Análise retrospectiva das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis centrais) e  $B/K$  e excedente de produção (painéis inferiores) para estoque sul do bagre-branco.

#### **4.3.3. Estado do estoque e opções de manejo**

Para definir um Limite de Captura Anual (LCA) para o estoque sul do bagre-branco, foram necessárias as seguintes análises, detalhadas a seguir.

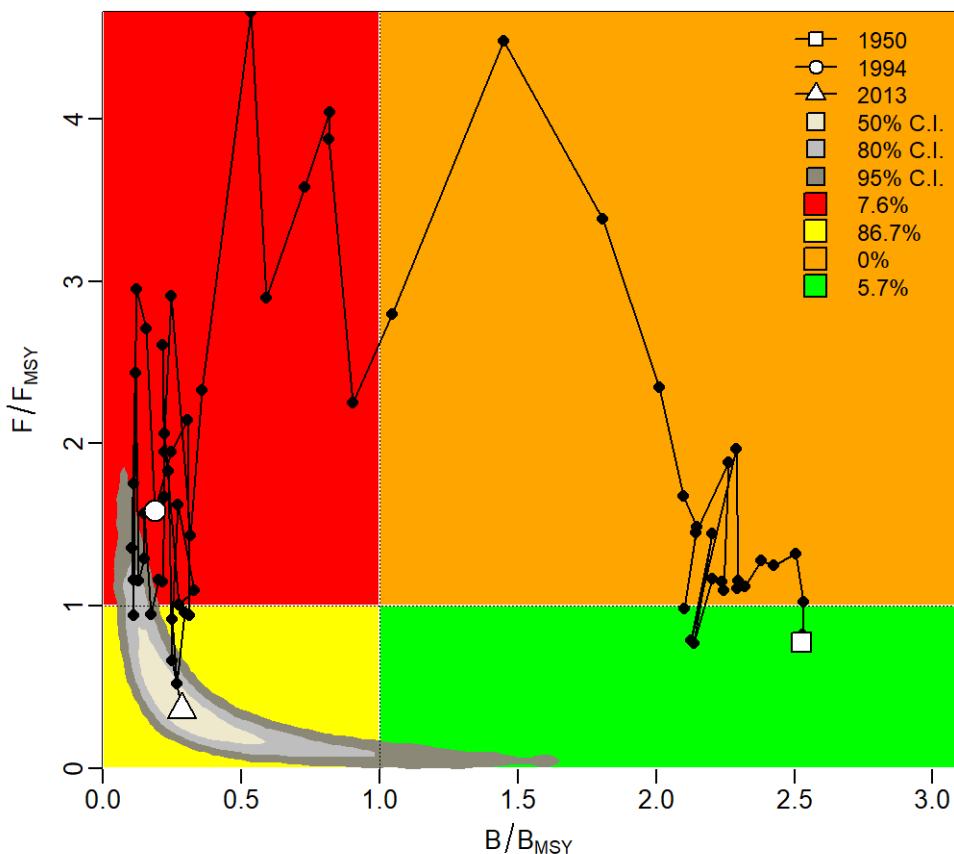
- 1) A determinação do Rendimento Máximo Sustentável (MSY) e, a partir dele o maior rendimento sustentável para a biomassa corrente  $B_{2013}$  como uma fração do MSY ( $MSY_f$ , sendo  $f$  uma porcentagem, por exemplo  $f = 95$  se o maior rendimento corresponde a 95% de MSY);
- 3) A construção da distribuição de probabilidade posterior para  $MSY_f$ , e;
- 4) A determinação do Limite Biologicamente Aceitável (LBA) e do Limite Máximo de Captura Anual (LCA).

A biomassa estimada para o último ano com dados disponíveis ( $B_{2013}$ ) corresponde à, aproximadamente, 28,5% do  $B_{MSY}$ . Sendo assim, o maior rendimento possível para esta condição do estoque deverá ser menor que o MSY estimado. Por assumir uma relação de denso-dependência, a produtividade do excedente de produção de um determinado estoque e, por sua vez, seu rendimento máximo sustentável, estão diretamente vinculados ao tamanho do estoque, conforme pode ser observado na **Figura 6**. Com base no cenário analisado para o estoque sul, pode-se observar que o excedente de produção encontra-se à 83%, em média, do MSY para a atual condição do estoque. Assim, a estimativa de  $MSY_{83\%} = 0,83 * MSY$ , e este ponto de referência será o centro das discussões daqui para frente. Logo, os valores de LBA e LCA deverão ser obtidos a partir do  $MSY_{83\%}$  cuja distribuição posterior pode ser observada na **Figura 8**.



**Figura 8.** Distribuição posterior integrada / mista dos MSY's 83% estimados para o cenário avaliado do estoque sul do bagre-branco.

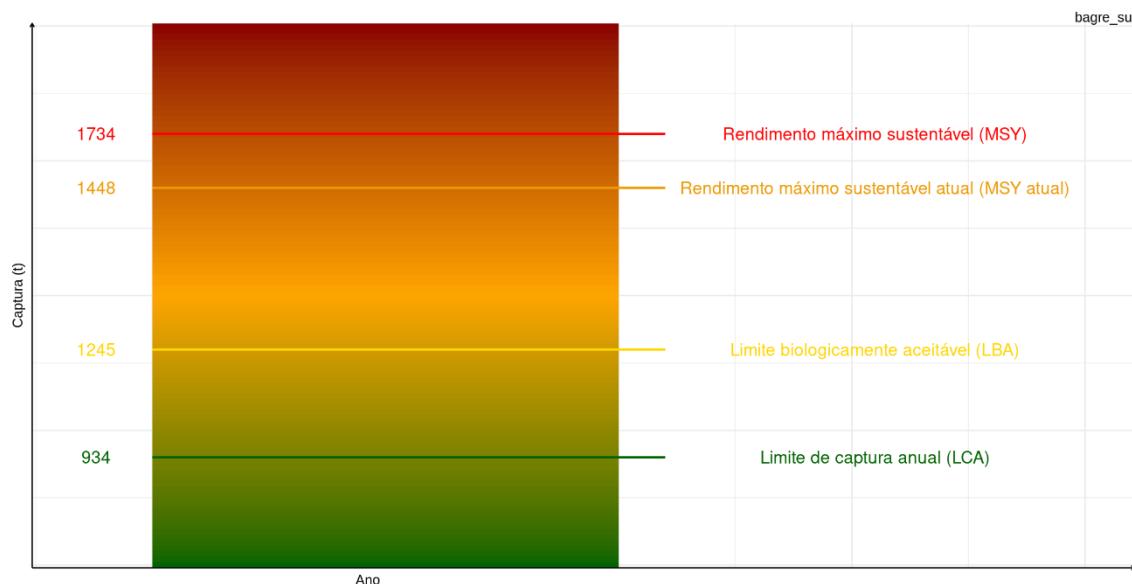
O gráfico de Kobe (**Figura 9**) mostra a distribuição posterior integrada dos parâmetros  $B_{2013}/B_{MSY}$  e  $F_{2013}/F_{MSY}$ , que, sob condições ótimas, deveriam estar ambos próximos de 1. A região intermediária do gráfico de Kobe (em coloração amarela) se caracteriza por  $B_{2013}/B_{MSY} < 1$  e  $F_{2013}/F_{MSY} < 1$  (traduzindo: o estoque está sobrepescado, com sua biomassa abaixo do sustentável, porém não está sofrendo sobrepesca, uma vez que a mortalidade por pesca está relativamente menor do que aquela que geraria o rendimento máximo sustentável). De acordo com o cenário analisado, a probabilidade de que a pescaria se encontre no quadrante amarelo é de 86,7% o que significa dizer que há evidências consideráveis de que o estoque se encontre sobrepescado mas não está sofrendo sobrepesca em 2013. No entanto, cabe ressaltar que ao integrar todas probabilidades de  $B_{2013}/B_{MSY} < 1$  (quadrantes amarelo e vermelho), pode-se avaliar que há 94,3% de chances do estoque ainda estar com sua biomassa abaixo do rendimento sustentável.



**Figura 9.** Kobe plot apresentando a composição das distribuições posteriores para  $B_{2013}/B_{MSY}$  e do  $F_{2013}/F_{MSY}$  do cenário ajustado para o estoque sul do bagre-branco. O triângulo branco representa a mediana dos valores estimados para 2013.

Para facilitar o entendimento sobre a discussão que seguirá, passa-se à simbolizar os possíveis valores da distribuição posterior do excedente de produção por letras minúsculas ( $msy_{83\%}$ ), reservando  $MSY_{83\%}$ , com letras maiúsculas, para indicar a estimativa pontual extraída desta distribuição posterior (usualmente a mediana ou a média são utilizadas como  $MSY_{83\%}$ ). De posse da distribuição posterior para possíveis valores  $msy_{83\%}$ , recomenda-se escolher para o LCA um valor que respeite uma zona tampão em relação ao valor fixado como  $MSY_{83\%}$  como forma de compensar o risco associado a uma eventual sobre-estimativa deste. Esta zona tampão pode ser estipulada em duas etapas. Primeiramente determinar um limite biologicamente aceitável (*LBA*) para exploração do recurso, que servirá como uma espécie de “teto” para LCA. Para isto, utilizou-se o percentil de 30% da distribuição posterior integrada de  $msy_{83\%}$  como sendo

o valor de LBA (a justificativa formalizada desta escolha está no parágrafo abaixo). Na segunda etapa, determinar  $LCA = 0,75*LBA$ ; ou seja, estabelece-se uma margem de segurança ( $\approx 25\%$ ) abaixo do “teto” definido pelo LBA como forma de compensar incertezas de outros erros inerentes do processo (p. ex.: dificuldades ou descompassos no monitoramento em tempo real das capturas). Com base neste critério precautório, recomenda-se um LCA de 934 t, que fica abaixo do LBA de 1.245 t e este, por sua vez, abaixo do  $MSY_{95\%}$  estimado em 1.448 t (valor médio da distribuição posterior) (**Figura 10**).

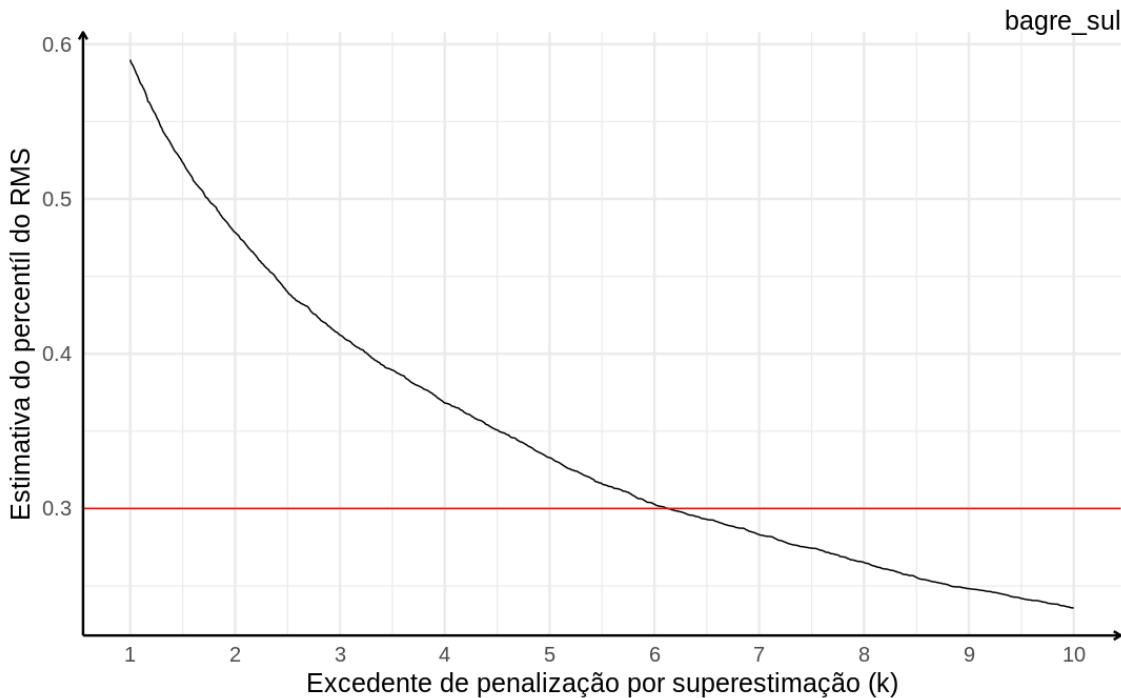


**Figura 10.** Diagrama de decisão para determinação do Limite de Captura Anual (LCA) do estoque sul do bagre-branco.

Para entender os argumentos do parágrafo acima é importante destacar que, quando apresentada a distribuição posterior do  $msy_{83\%}$ , está-se descrevendo múltiplas possibilidades de excedente de produção associados a suas respectivas densidades de probabilidade. A utilização da média da distribuição posterior, isto é  $MSY = E(msy)$  como estimativa pontual (e.g.,  $MSY_{83\%} = 1.448$  t) corresponde a escolha de um particular valor da distribuição como seu representante. Esta escolha, que é, de fato, uma tomada de decisão sob incerteza, resulta da minimização da função de perda  $L(Z) = E[(msy_{83\%} - Z)^2]$

para algum  $Z$  escolhido entre todos os possíveis valores plausíveis de  $msy_{83\%}$ . Ou seja, a escolha de  $Z = MSY_{83\%}$  que minimiza a função  $L(Z)$ .

No entanto, uma decisão que pretende ser precautória, deverá penalizar mais fortemente uma sobre-estimativa do valor verdadeiro, mas desconhecido de  $MSY_{83\%}$ . Para isso, a função de perda é modificada tornando-se assimétrica de forma que continua sendo  $Lk(Z) = (msy_{83\%} - Z)^2$  somente se  $Z < MSY_{83\%}$  e passando a ser  $Lk(Z) = k*(msy_{83\%} - Z)^2$  se  $Z > MSY_{95\%}$  para algum número real  $k > 1$  escolhido para refletir a penalização adicional de uma superestimativa errônea. Para melhor entender esta relação apresenta-se na **Figura 11** o valor do percentil (eixo das ordenadas) em função de valores crescentes de  $k$  para a distribuição posterior mista de  $msy_{83\%}$ . Verifica-se que o percentil 30% utilizado neste trabalho para definir  $Z = LBA$ , corresponde a  $k = 6$ . Isto equivale a dizer que o LBA, de fato, corresponde a uma estimativa conservadora de  $MSY_{83\%}$  utilizando a função penalizada assimétrica em que um eventual erro de sobre-estimativa no  $MSY_{83\%}$  será penalizado 6 vezes mais que um erro de subestimativa com igual magnitude. Esta é uma justificativa formalizada em termos da teoria Bayesiana de Decisão, de que a escolha do LBA nos termos aqui propostos, é claramente precautória.



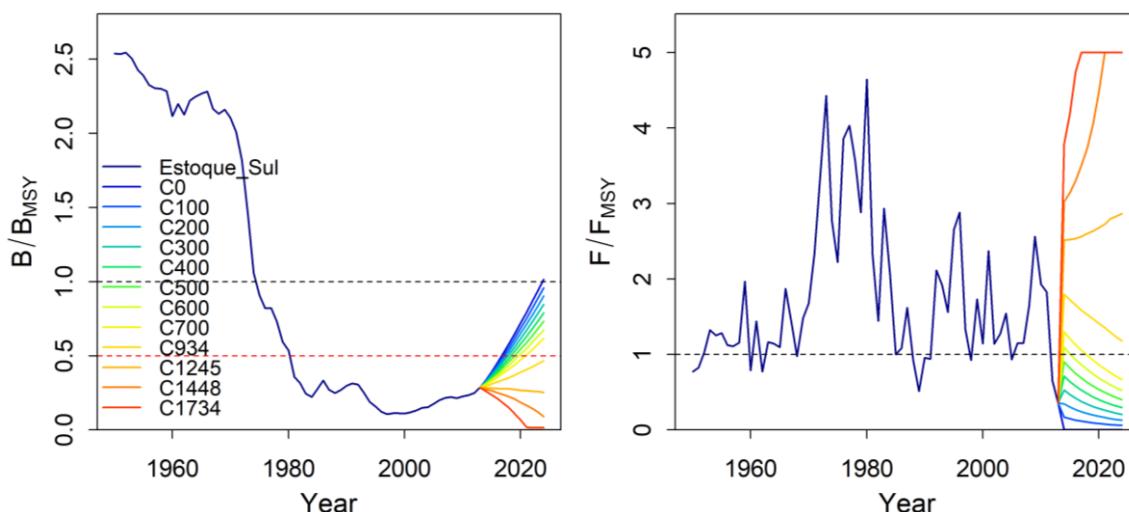
**Figura 11.** Decaimento da estimativa do percentil do MSY em função do excedente de penalização por superestimação do K proposto para estoque sul do bagre-branco.

#### 4.3.4. Projeções do modelo DB

Dado que o modelo foi estruturado somente até o ano de 2013 devido à inconsistência nos registros de capturas para o estoque sul, foram realizadas projeções estocásticas utilizando a função *fw\_jabba()* do pacote JABBA. Essas projeções foram realizadas após o último ano com desembarques registrados (2014 em diante), com um horizonte temporal de 10 anos, abrangendo o período de 2014 a 2024. As projeções estocásticas foram realizadas com base em cenários de capturas constantes variando de 0 t (sem desembarques; F=0) até 700 t em intervalos de 100 t, assim como para os valores estimados de LCA (934 t), LBA (1245 t), MSY atual (1448 t) e MSY (1734 t).

As trajetórias anuais projetadas de biomassa e mortalidade por pesca estão representadas na **Figura 12**. Notadamente, cenários com capturas constantes iguais ou acima do LBA levariam a um aumento na taxa de mortalidade por pesca acima do  $F_{MSY}$ , o que resultaria num declínio contínuo da biomassa, e o estoque não se recuperaria em nenhuma circunstância dentro do período da projeção. Por outro lado, qualquer captura

mantida abaixo do LCA, durante o período projetado, resultaria em uma redução gradual da mortalidade por pesca, bem como em um aumento da biomassa.



**Figura 12.** Trajetórias anuais projetadas de biomassa e mortalidade por pesca (painéis inferiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis superiores) para estoque sul do bagre-branco.

Nesses cenários de projeções do status do estoque, a velocidade da recuperação depende da magnitude da captura; ou seja, quanto menor a captura, maior a velocidade da recuperação. A **Tabela 3** apresenta as probabilidades estimadas de que a biomassa do estoque esteja acima do  $B_{MSY}$  (não sobrepescado) e que a mortalidade por pesca esteja abaixo do  $F_{MSY}$  (não sofrendo sobrepesca) em um determinado ano, considerando um nível constante de captura ( $C$ ). Em outras palavras, a **Tabela 3** indica a probabilidade do estoque estar no quadrante verde do gráfico de Kobe em cada ano de cada cenário de captura constante projetado. Dessa forma, é possível observar que a tendência de recuperação do estoque, com capturas mantidas acima do valor estimado para o LCA, apresenta uma velocidade de recuperação muito lenta dentro do período da projeção. No entanto, assumindo que as capturas foram reduzidas substancialmente a partir da inclusão da espécie na lista vermelha de espécies ameaçadas em 2014, e considerando uma captura acidental hipotética entre 300 t e 100 t anuais após esse período, as projeções indicam que o estoque sul do bagre-branco teria uma probabilidade de 35% a 46% de estar recuperado em 2024 (*i.e.*,  $B_{2024}/B_{MSY} > 1$  e  $F_{2024}/F_{MSY} < 1$ )

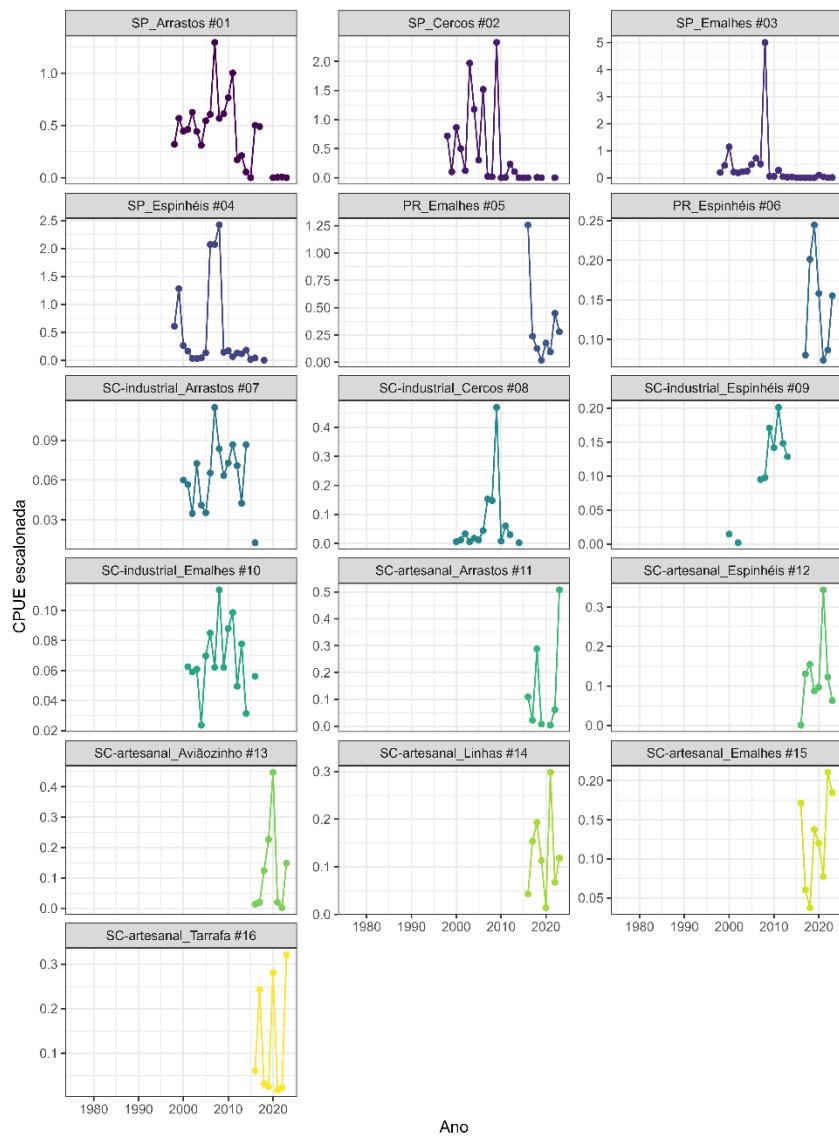
**Tabela 3.** Matriz de probabilidade do estoque sul do bragre-branco estar no quadrante verde do gráfico de Kobe (*i.e.*,  $B/B_{MSY} > 1$  e  $F/F_{MSY} < 1$ ) para cada cernario de captura constante em cada ano projetado.

Matriz de Probabilidade - $P(B>B_{MSY} \& F < F_{MSY})$ - Estoque Sul											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
C1734 (MSY)	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8
C1448 (MSYatual)	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	11
C1245 (LBA)	7	7	8	8	9	9	10	11	12	12	13
C934 (LCA)	7	8	8	9	10	11	12	13	14	16	17
C700	7	8	9	10	11	13	14	16	18	20	22
C600	7	8	9	10	12	13	15	17	20	22	24
C500	7	8	9	11	12	14	16	19	21	24	27
C400	7	8	9	11	13	15	18	20	23	27	31
C300	7	8	10	12	14	16	19	21	25	30	35
C200	7	8	10	12	14	17	20	24	28	34	40
C100	7	9	10	13	15	18	21	26	32	38	46
C0	7	9	11	13	16	19	23	29	35	43	52

Projeto 141002 (2024)

## 5. Implementação do modelo DB para o estoque norte

Com base na análise exploratória das CPUEs disponíveis para a elaboração do modelo DB para o estoque norte do bagre-branco (**Figura 13**), observou-se uma significativa descontinuidade temporal nos valores estimados das diferentes séries. Além disso, a elevada variabilidade interanual das múltiplas séries de CPUE não reflete nenhuma plausibilidade da dinâmica da populacional de um estoque pesqueiro. Por esse motivo, decidiu-se não utilizar nenhuma das séries disponíveis.



**Figura 13.** Séries temporais de captura por unidade de esforço do bagre-branco compiladas para o estoque norte.

Para contornar à ausência de séries de CPUE consistentes, foi necessário utilizar modelos DB baseados exclusivamente em dados de captura para estimar o estado do estoque e os pontos de referência biológicos. De modo geral, esses modelos de avaliação dependem de níveis de depleção (B/K) informados pelo analista através de distribuições a priori. Dessa forma, esses modelos reconstruem as trajetórias prováveis da biomassa, levando em consideração os níveis de captura, a produtividade do estoque e o nível de depleção populacional no último ano da série temporal.

Portanto, para a avaliação de estoque norte do bragre-branco, o modelo

Bayesiano de produção excedente com estrutura de estado-espacó JABBA (Winker et al., 2018) foi implementado com auxílio do framework que requer apenas dados de captura para seu ajuste (Kell et al., 2022). Este framework está disponível publicamente no formato de pacote para o ambiente estatístico computacional R (<https://github.com/jabbamodel/JABBA>).

Como o modelo baseado apenas em capturas não possui a segunda componente dos modelos DB (*i.e.* CPUE), a parametrização do nível depleção do último ano da série temporal ( $B_{final}/K$ ) foi estruturada a partir da regra heurística descrita em Kell et al., (2022), cuja a razão entre a captura do último ano da série temporal e a captura máxima da série temporal ( $C_{final}/C_{max}$ ), determina a parametrização de uma distribuição priori lognormal informativa (veja o item 5.2. abaixo):

$$\frac{B_{final}}{K} = \begin{cases} 0,4 - 0,8 \text{ se } C_{final}/C_{max} > 0,8 \\ 0,2 - 0,6 \text{ se } 0,5 < C_{final}/C_{max} \leq 0,8 \\ 0,01 - 0,4 \text{ se } 0,35 > C_{final}/C_{max} \leq 0,5 \\ 0,01 - 0,3 \text{ se } 0,15 < C_{final}/C_{max} \leq 0,35 \\ 0,01 - 0,2 \text{ se } 0,05 < C_{final}/C_{max} \leq 0,15 \\ 0,01 - 0,1 \text{ se } C_{final}/C_{max} \leq 0,15 \end{cases} \quad \text{equação (8)}$$

### 5.1. Análise Bayesiana

As prioris foram definidas de modo que sejam pouco informativas (*i.e.* prioris vagas), porém com uma estrutura matemática conveniente (*e.g.* lognormal) para facilitar a convergência do algoritmo computacional de *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) a ser utilizado para obter as posteriores (Gelman et al., 2004) (**Tabela 4**).

**Tabela 4.** Resumo das funções de densidade probabilidade utilizadas como prioris dos parâmetros do modelo de dinâmica de biomassa Bayesianos utilizado para avaliação do estoque norte do bragre-branco.

Parâmetro	Distribuição	$\mu$	C.V.
r	lognormal	0,088	0,185

k	lognormal	47.011 (i.e., 8 vezes a capturam máxima)	1
$\phi = B_{1950}/K$	lognormal	0,99	0,1
$\phi$	uniforme	1.0 E-10	1
$\sigma_{proc}^2$	inverse-gamma	0,001	0,001
$\sigma_{obsi}^2$	inverse-gamma	0,001	0,001

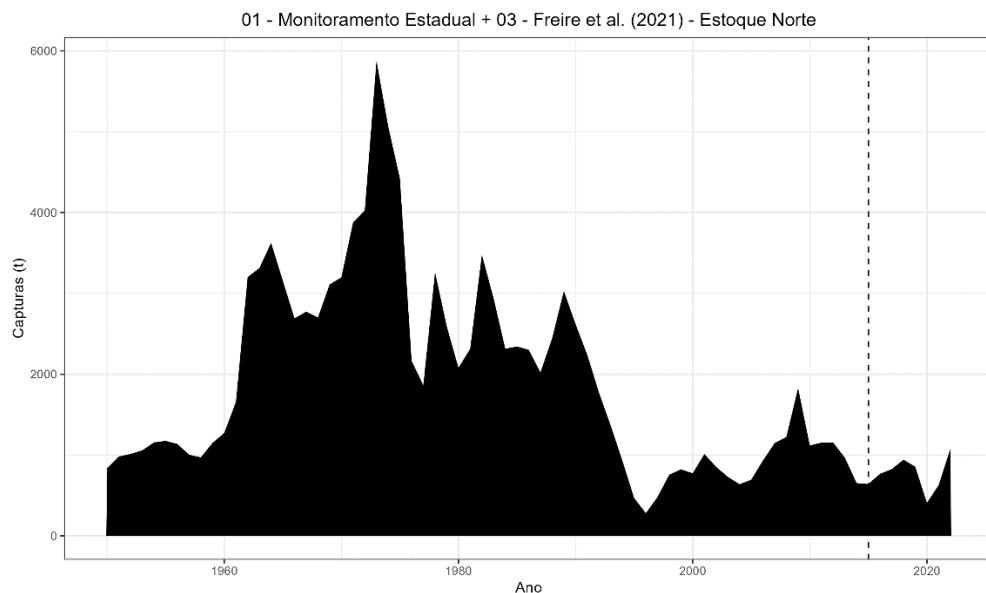
Adicionalmente à estrutura de prioris, o modelo foi ajustado considerando uma fonte de variação nos dados de captura, visto toda a incerteza existente nas informações de captura total da espécie. Para isto, foi considerado um coeficiente de variação de 10%, considerando que as capturas totais podem ser subestimadas. Ainda quanto a estrutura do modelo, como *proxy* para o parâmetro de forma do modelo de Pella & Tomlinson ( $m$ ) foi utilizada a relação entre este parâmetro e a razão entre  $B_{MSY}/K$  conforme a equação 5 desse relatório.

Mas, como tanto  $B_{MSY}$  quanto  $K$  são parâmetros desconhecidos a serem estimados, assim também será desconhecido  $m$ . Portanto, o valor  $m$  pode ser fixado em função da razão entre as medianas (ou médias) das distribuições prioris de  $B_{MSY}$  e de  $K$ ; ou, alternativamente, ter seus níveis de incerteza modelado também, por meio de uma distribuição priori lognormal. Na presente análise, a razão entre  $B_{MSY}/K$  foi fixada em 0.33. Na parametrização de Winker et al. (2018) o MSY é obtido como função de  $r$ ,  $K$  e  $m$  (equação 6 desse relatório). Já a taxa de mortalidade por pesca é a razão entre a captura  $C$  e a biomassa correspondente  $B$  (equação 7 desse relatório).

### **5.2. Definição dos cenários de avaliação**

Os dados de captura utilizado para a avaliação do estoque norte do bagre-branco consideraram os dados das Séries 01 e 03 (produto 1), provenientes dos monitoramentos estaduais e compilados por Freire et al. (2021) respectivamente. A Série 03 de Freire et al. (2021) abrange o período de 1950 a 2015, preenchendo uma lacuna temporal em que o monitoramento estadual ainda não estava estabelecido.

Assim, optou-se por utilizar os dados de Freire até 2015 e, posteriormente, os dados do monitoramento estadual até 2022 (**Figura 14**).



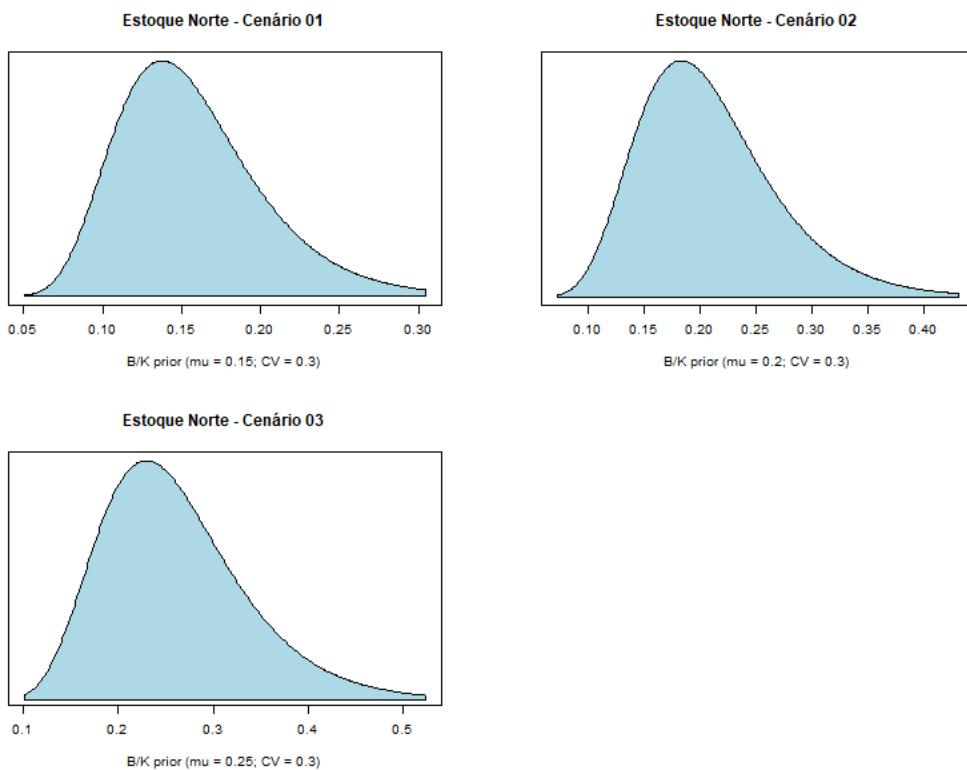
**Figura 14.** Série Temporal de Captura do Estoque Norte ( $21^{\circ}30'$  a  $28^{\circ}53'$  S) do Bagre-Branco ao Longo da Margem Meridional Brasileira. A linha tracejada indica a separação entre os dados reconstruídos de Freire et al. (2021) entre 1950-2015 e os dados do Monitoramentos Pesqueiros Estaduais entre 2016-2022.

Com base na regra heurística de Kell (equação 8 desse relatório), a prior de depleção foi estabelecida a partir da divisão da captura do último ano ( $C_{final} = 1077$  t) pela captura máxima da série temporal ( $C_{max} = 5876$  t), obtendo-se o valor de 0,18, o qual se enquadra na seguinte regra:  $0,01 - 0,3 \text{ se } 0,15 < C_{final}/C_{max} \leq 0,35$ . Para incorporar a amplitude dos valores propostos pela regra, foram ajustados três cenários distintos com base na variação da  $B_{2022}/K$  assumindo uma distribuição log-normal e um CV de 0,3 (**Figura 15**):

Cenário 01 –  $B_{2022}/K = 0,15$  e CV 0,3;

Cenário 02 –  $B_{2022}/K = 0,20$  e CV 0,3;

Cenário 03 –  $B_{2022}/K = 0,25$  e CV 0,3.



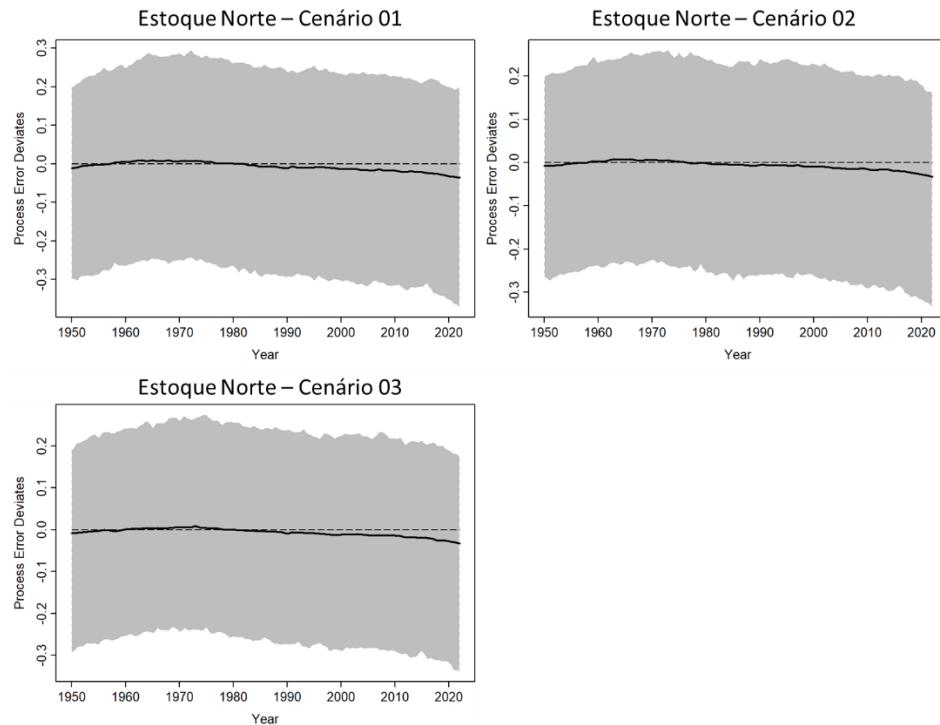
**Figura 15.** Priors de depeleção ( $B_{2022}/K$ ) utilizadas em cada cenário de avaliação do estoque norte do bagre-branco.

### 5.3. Resultados e discussão

#### 5.3.1. Diagnóstico do modelo DB

Os diagnósticos realizados sobre os cenários ajustados ( $\hat{R} \approx 1,1$ ) confirmaram tanto a convergência dos processos de Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC) quanto a robustez nas estimativas dos parâmetros ajustados. Estes fatos sugerem que os valores simulados para os parâmetros dos modelos constituem uma boa expressão da sua distribuição posterior.

A análise do erro do processo, o comportamento observado foi satisfatório em todos os cenários. A tendência apresentou uma baixa oscilação ao longo das séries históricas e o intervalo de credibilidade de 95% sempre cobre o valor 0 para todos os cenários ajustados (**Figura 16**).



**Figura 16.** Distribuição temporal dos erros do processo estimados para os cenários de avaliação do estoque norte do bagre-branco.

### 5.3.2. *Estimativas do modelo DB*

As posteriores dos modelos ajustados para os três cenários avaliados foram relativamente similares entre si (**Tabela 5**). Os parâmetros do modelo de Pella & Tomlinson comuns aos cenários ajustados neste trabalho (e.g. capacidade suporte do estoque –  $K$  e crescimento populacional intrínseco –  $r$ ) apresentaram o valor mediano de  $K$  variando entre 66.348 e 69.738 t e o  $r$  entre 0.073 e 0.077, sendo que em todos os casos os intervalos de credibilidade de 95% dos parâmetros estiveram sobrepostos entre os cenários avaliados. Este comportamento também foi observado para os pontos de referência para os três cenários. As medianas de  $F_{MSY}$ ,  $B_{MSY}$  e  $MSY$  foram próximas, e os intervalos de credibilidade de 95% também estiveram, em todos os cenários, sobrepostos, denotando uma similaridade entre os cenários ajustados

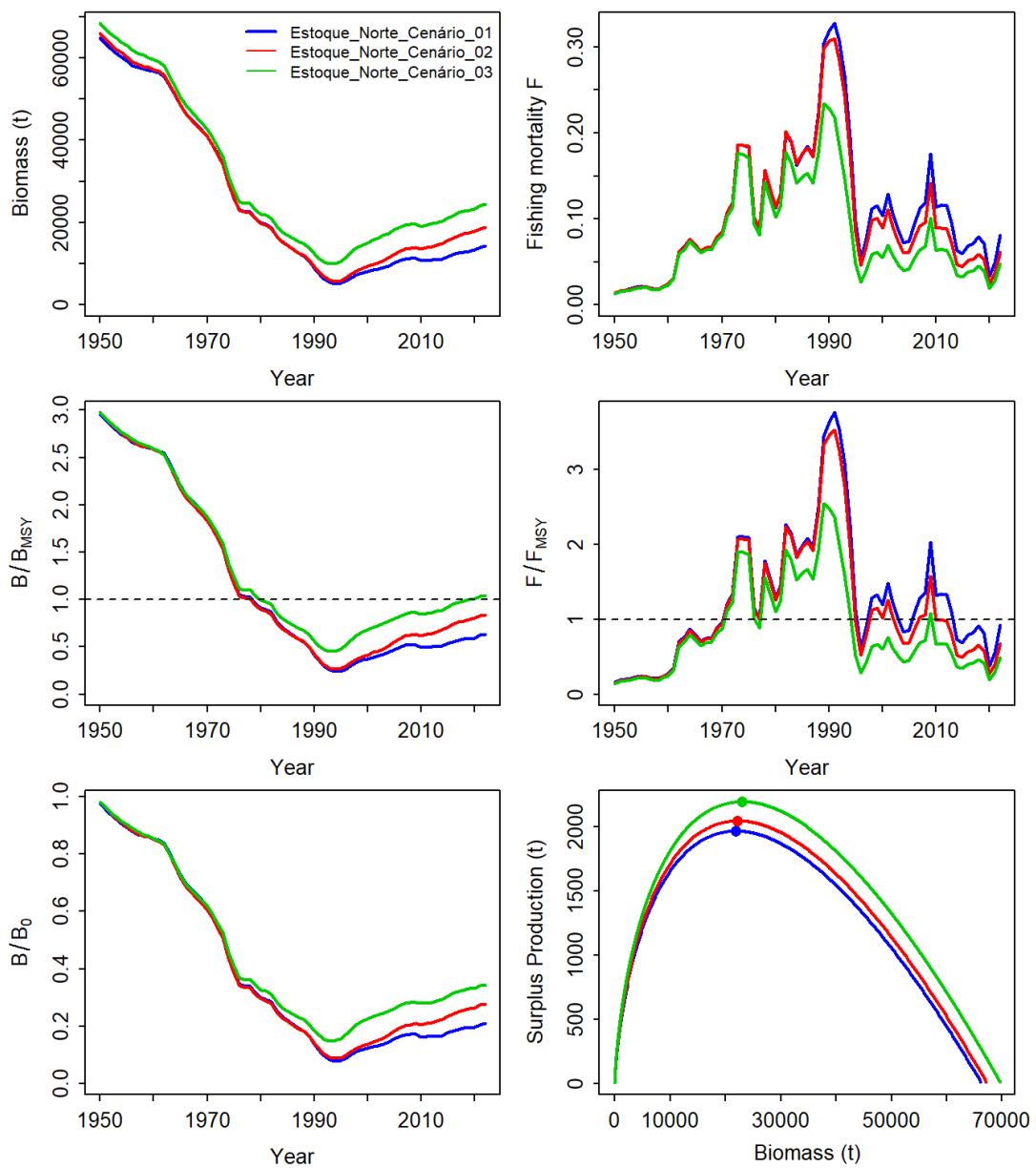
As estimativas do status atual do estoque ( $B_{2022}/K$ ) mostram uma correlação positiva com a prior de depleção utilizada em cada cenário, apesar da sobreposição dos intervalos de credibilidade de 95%. Observa-se que, quanto maior o valor da prior, maior é a mediana do status do estoque. A condição atual estimada para o estoque encontra-se, em média, à 28% da sua capacidade suporte. Em geral, a média biomassa atual ( $B_{2022}$ ) do estoque está a 84% da biomassa que produz rendimento máximo sustentável ( $B_{MSY}$ ) (**Tabela 5**). A taxa de exploração em 2022 ( $F_{2022}$ ) em relação ao esforço do rendimento máximo sustentável ( $F_{MSY}$ ) também apresentou uma sobreposição dos intervalos de credibilidade de 95% entre todos os cenários analisados. No entanto se observa uma correção negativa com a prior de depleção utilizada em cada cenário, onde quanto maior o valor da prior, menor é a mediana de  $F_{2022}/F_{MSY}$ . Mesmo assim, em todos os cenários a taxa de exploração foi estimada abaixo do limiar sustentável (**Tabela 4**).

**Tabela 5.** Resumo estatístico das distribuições posteriores marginais dos parâmetros estimados em cada um dos modelos DB de Pella & Tomlinson ajustados à cada cenário avaliado para o estoque norte do bagre-branco.

Estimativa	Estoque Norte – Cenário 01			Estoque Norte – Cenário 02			Estoque Norte – Cenário 03		
	Mediana	2,5%	97,5%	Mediana	2,5%	97,5%	Mediana	2,5%	97,5%
$K$	66347.9	45205.5	117484.8	67331.5	47829.9	115470.8	69738.2	48348.5	161460.7
$r$	0.073	0.053	0.100	0.075	0.054	0.105	0.077	0.055	0.110
$\psi (psi)$	0.990	0.971	1.010	0.990	0.971	1.010	0.990	0.971	1.009
$\sigma_{proc}^2$	0.117	0.027	0.204	0.101	0.028	0.2	0.107	0.029	0.201
$m$	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811	0.811
$F_{MSY}$	0.09	0.065	0.123	0.092	0.067	0.129	0.095	0.068	0.136
$B_{MSY}$	21900.6	14921.8	38780.2	22225.3	15788.1	38115.5	23019.7	15959.2	53296.1
$MSY$	1945.7	1384.0	3464.7	2016.9	1485.0	3649.5	2165.7	1524.3	5284.9
$B_{1950}/K$	0.979	0.733	1.212	0.982	0.758	1.208	0.982	0.739	1.197
$B_{2022}/K$	0.211	0.112	0.395	0.278	0.155	0.505	0.343	0.188	0.615
$B_{2022}/B_{MSY}$	0.638	0.34	1.196	0.842	0.469	1.529	1.039	0.57	1.862
$F_{2022}/F_{MSY}$	0.921	0.388	2.03	0.674	0.275	1.413	0.497	0.162	1.127

A dinâmica dos parâmetros de gestão dos modelos podem ser visualizada na **Figura 17**. A biomassa do estoque apresentou uma diminuição contínua ao longo das

séries históricas até meados dos anos 1990. Após esse período, houve uma drástica redução da mortalidade por pesca, resultando em um aumento da biomassa nos anos subsequentes, com estabilização no final dos anos 2000. Posteriormente, a biomassa voltou a se recuperar em meados dos anos 2010, devido a uma nova redução da mortalidade por pesca, provavelmente influenciada pelas medidas de restrição da pescaria do bagre-branco implementadas após 2014. Analisando a relação entre o excedente de produção e o estado atual do estoque (**Figura 17**), é estimado que, com a biomassa de 2022 em média 28% da sua capacidade de suporte, pode haver uma redução nos excedentes de produção gerados pelo recurso, impactando diretamente os rendimentos máximos da espécie.



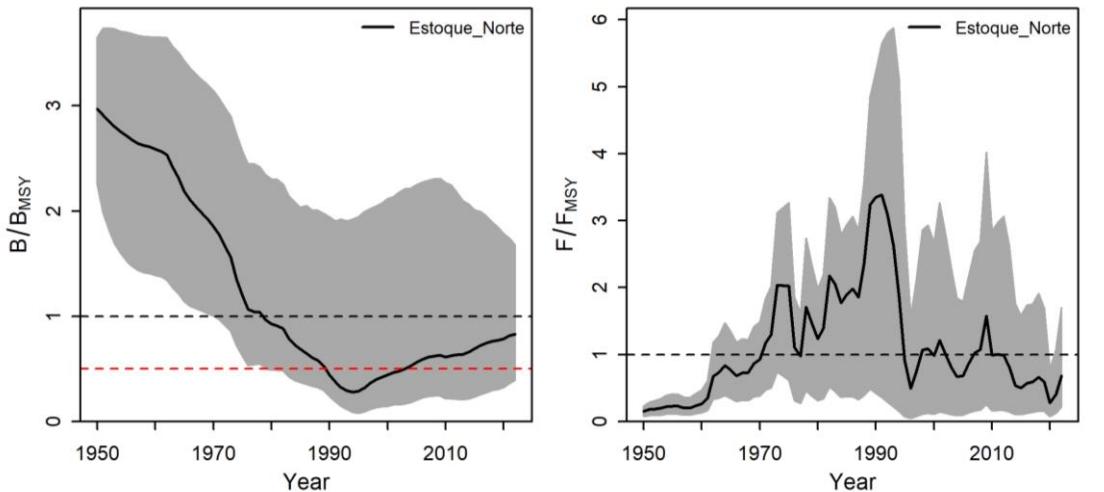
**Figura 17.** Distribuição das tendências temporais na biomassa, mortalidade por pesca (painéis superiores),  $B/B_{MSY}$  e  $F/F_{MSY}$  (painéis centrais) e  $B_0/B_0$  e excedente de produção (painéis inferiores) para cada um dos cenários ajustados para o estoque norte do bagre-branco.

### **5.3.3. Estado do estoque e opções de manejo**

Para a definição de um Limite de Captura Anual (LCA) para o estoque norte do bagre-branco, várias análises foram necessárias e estão detalhadas abaixo. São elas:

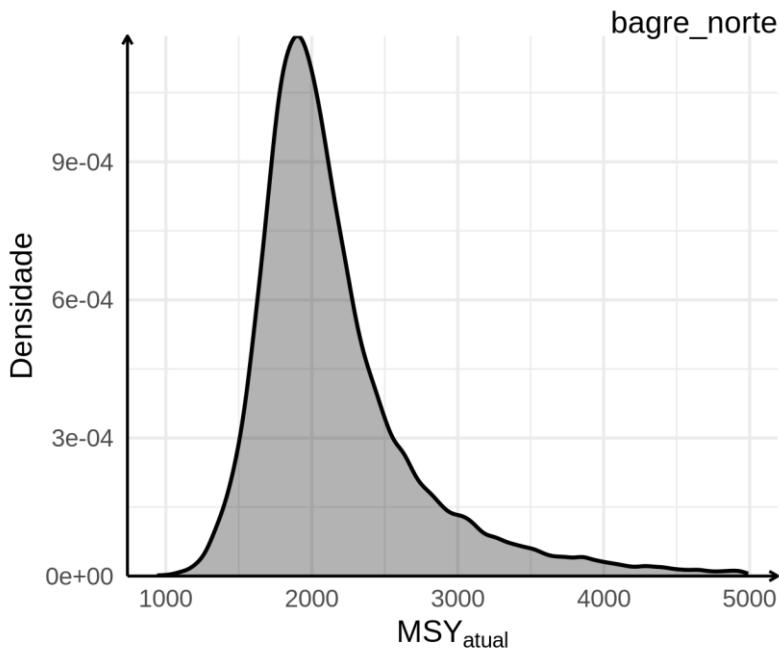
- 1) A determinação do estado atual da biomassa  $B_{2022}$  em relação a capacidade de suporte  $K$  ( $B_{2022}/K$ ) e em relação a biomassa que produz o máximo rendimento sustentável ( $B_{2022}/B_{MSY}$ );
- 2) A determinação do Rendimento Máximo Sustentável (MSY) e, a partir dele o maior rendimento sustentável para a biomassa corrente  $B_{2022}$  como uma fração do MSY ( $MSY_f$ , sendo  $f$  uma porcentagem, por exemplo  $f = 95$  se o maior rendimento corresponde a 95% de MSY);
- 3) A construção da distribuição de probabilidade posterior para  $MSY_f$ , e;
- 4) A determinação do Limite Biologicamente Aceitável (LBA) e do Limite Máximo de Captura Anual (LCA).

Para a análise final e construção dos parâmetros a serem utilizados como ponto de referência para gestão da pesca do estoque norte do bragre-branco construiu-se distribuições combinadas a partir das posteriores estimadas naturalmente pelos os três cenários testados. A **Figura 18** mostra a trajetória combinada das biomassas anuais em função da biomassa que geraria o rendimento máximo sustentável ( $B/B_{MSY}$ ) e da taxa de exploração em relação ao esforço do rendimento máximo sustentável ( $F/F_{MSY}$ ). A construção de uma distribuição conjunta para cada parâmetro permitiu a incorporação das incertezas entre os cenários avaliados.



**Figura 18.** Trajetórias de  $B_{\text{anual}}/B_{\text{MSY}}$  (esquerda) e  $F_{\text{anual}}/F_{\text{MSY}}$  (direita) com 95% de intervalo de credibilidade (área cinza) para a distribuição conjunta dos três cenários considerados na avaliação do estoque norte do bagre-branco.

A biomassa estimada para 2022 ( $B_{2022}$ ) corresponde à, aproximadamente, 84% do  $B_{\text{MSY}}$ . Sendo assim, o maior rendimento possível para esta condição do estoque deverá ser menor que o  $MSY$  estimado. Por assumir uma relação de denso-dependência, a produtividade do excedente de produção de um determinado estoque e, por sua vez, seu rendimento máximo sustentável, estão diretamente vinculados ao tamanho do estoque, conforme pode ser observado na **Figura 17**. Com base na integração dos 3 cenários, pode-se observar que o excedente de produção encontra-se à 99%, em média, do  $MSY$  para a atual condição do estoque. Assim, a estimativa do  $MSY_{99\%} = 0,99 * MSY$ , e este ponto de referência será o centro das discussões daqui para frente. Logo, os valores de LBA e LCA deverão ser obtidos a partir do  $MSY_{99\%}$  cuja distribuição posterior pode ser observada na **Figura 19**.

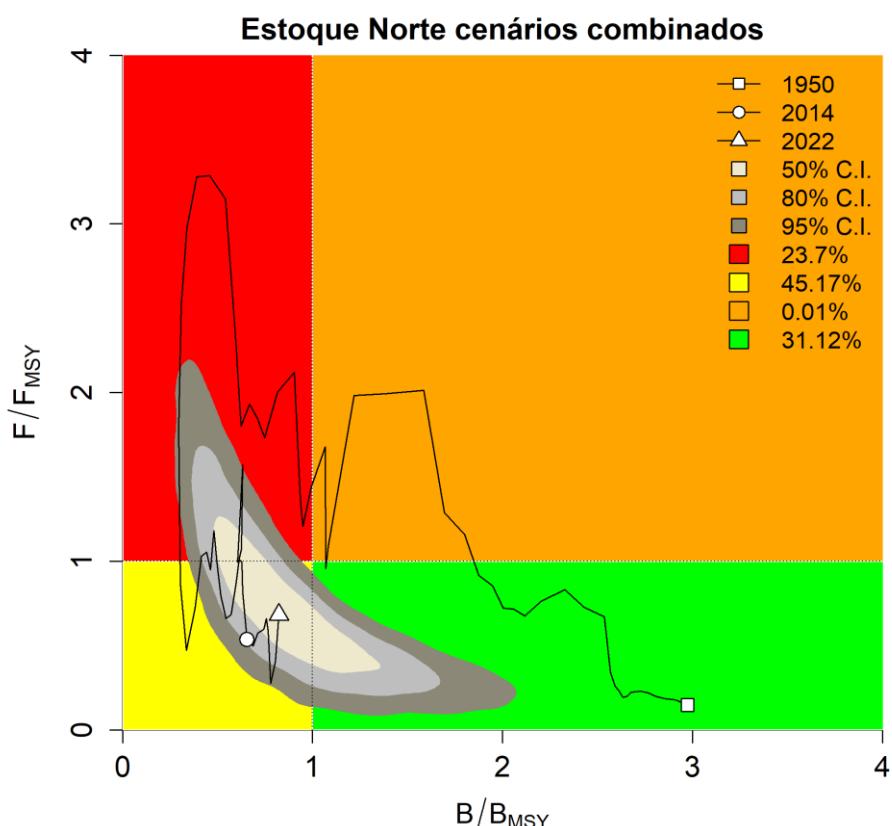


**Figura 19.** Distribuição posterior integrada / mista dos MSY's 99% estimados para os três cenários avaliados do estoque norte do bagre-branco.

O gráfico de Kobe (**Figura 20**) mostra a distribuição posterior integrada dos parâmetros  $B_{2022}/B_{MSY}$  e  $F_{2022}/F_{MSY}$ , que, sob condições ótimas, deveriam estar ambos próximos de 1. A região mais crítica (em coloração vermelha) se caracteriza por  $B_{2022}/B_{MSY} < 1$  e  $F_{2022}/F_{MSY} > 1$  (traduzindo: o estoque está sobre pescado, com sua biomassa abaixo do sustentável e há uma mortalidade por pesca relativamente maior do que aquela que geraria o rendimento máximo sustentável). De acordo com as análises integradas para os três cenários, a probabilidade de que a pescaria se encontre no quadrante vermelho é de 23,7% o que significa dizer que há baixas evidências de que o estoque se encontre numa situação crítica quanto a sua sustentabilidade.

A região intermediária do gráfico de Kobe (em coloração amarela) se caracteriza por  $B_{2022}/B_{MSY} < 1$  e  $F_{2022}/F_{MSY} < 1$  (traduzindo: o estoque está sobre pescado, com sua biomassa abaixo do sustentável, porém não está sofrendo sobre pesca, uma vez que a mortalidade por pesca está relativamente menor do que aquela que geraria o rendimento máximo sustentável). De acordo com as análises integradas para os três cenários, a probabilidade de que a pescaria se encontre no quadrante amarelo é de

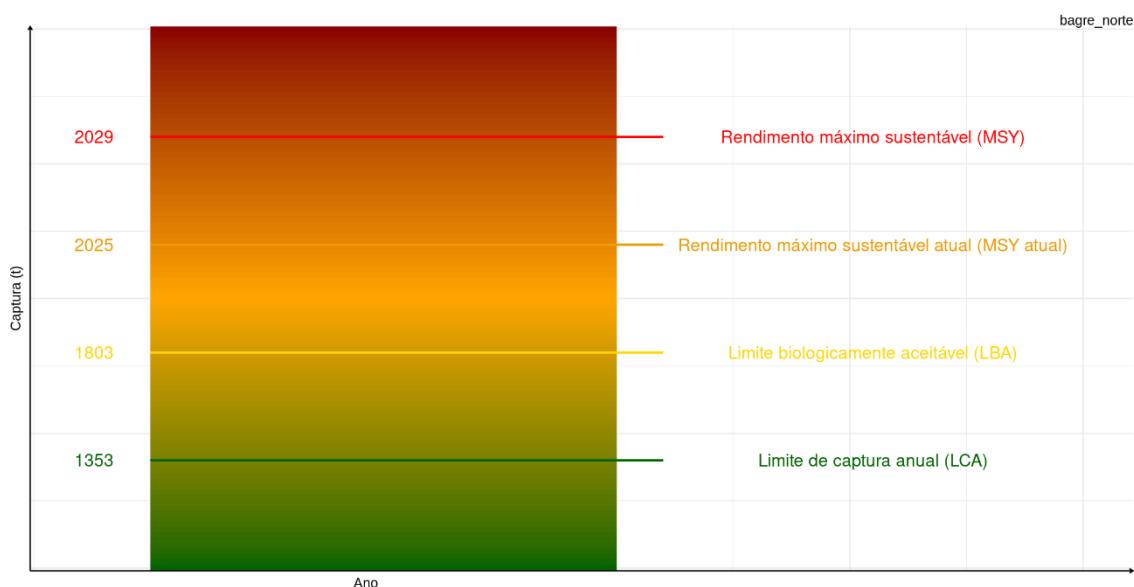
45,17% o que significa dizer que há evidências consideráveis de que o estoque se encontre sobrepescado mas não está sofrendo sobrepesca em 2022. No entanto, cabe ressaltar que ao integrar todas probabilidades de  $B_{2022}/B_{MSY} < 1$  (quadrantes amarelo e vermelho), pode-se avaliar que há 68,24% de chances do estoque ainda estar com sua biomassa abaixo do rendimento sustentável.



**Figura 20.** Kobe plot apresentando a composição das distribuições posteriores para  $B_{2022}/B_{MSY}$  e do  $F_{2022}/F_{MSY}$  dos diferentes cenários ajustados para o estoque norte do bagre-branco. O ponto branco representa a mediana dos valores estimados para 2022.

Assim como descrito na **seção 4.3.3** desse relatório, para facilitar o entendimento sobre a discussão que seguirá, passa-se à simbolizar os possíveis valores da distribuição posterior do excedente de produção por letras minúsculas ( $msy_{99\%}$ ), reservando  $MSY_{99\%}$ . De posse da distribuição posterior para possíveis valores  $msy_{99\%}$ , recomenda-se escolher para o *LCA* um valor que respeite uma zona tampão em relação ao valor fixado como

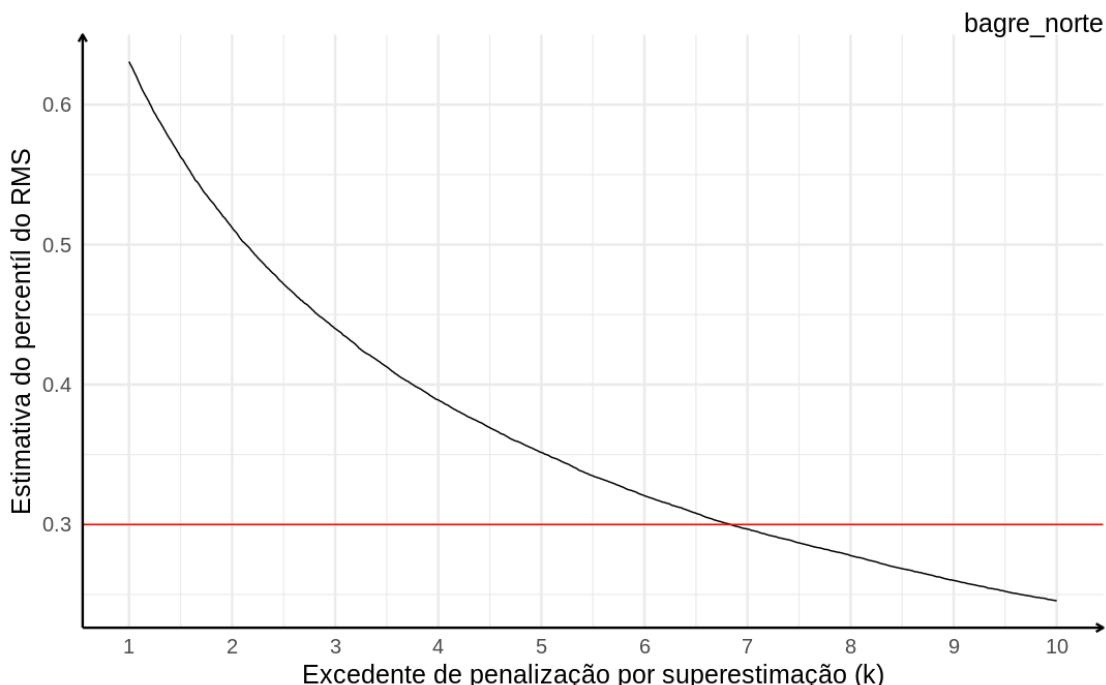
$MSY_{99\%}$  como forma de compensar o risco associado a uma eventual sobre-estimativa deste. Utilizou-se o percentil de 30% da distribuição posterior integrada de  $msy_{99\%}$  como sendo o valor de LBA. Na sequencia, o LCA foi estimado como  $0,75*LBA$ ; ou seja, estabelece-se uma margem de segurança ( $\approx 25\%$ ) abaixo do “teto” definido pelo LBA como forma de compensar incertezas de outros erros inerentes do processo. Com base neste critério precautório, recomenda-se um LCA de 1.353 t, que fica abaixo do LBA de 1.803 t e este, por sua vez, abaixo do  $MSY_{95\%}$  estimado em 2025 t (valor médio da distribuição posterior) (Figura 21).



**Figura 21.** Diagrama de decisão para determinação do Limite de Captura Anual (LCA) do estoque norte do bagre-branco.

A mesma função de perda descrita na seção 4.3.3 a respeito da penalização por superestimação do  $k$  foi utilizada para o estoque norte, onde a Figura 22 apresenta o valor do percentil (eixo das ordenadas) em função de valores crescentes de  $k$  para a distribuição posterior mista de  $msy_{99\%}$ . Verifica-se que o percentil 30% utilizado neste trabalho para definir  $Z = LBA$ , corresponde a  $k = 6,8$ . Isto equivale a dizer que o LBA, de fato, corresponde a uma estimativa conservadora de  $MSY_{99\%}$  utilizando a função penalizada assimétrica em que um eventual erro de sobre-estimativa no  $MSY_{99\%}$  será penalizado

6,8 vezes mais que um erro de subestimativa com igual magnitude. Esta é uma justificativa formalizada em termos da teoria Bayesiana de Decisão, de que a escolha do LBA nos termos aqui propostos, é claramente (e fortemente) precautória.



**Figura 22.** Decaimento da estimativa do percentil do MSY em função do excedente de penalização por superestimação do K proposto para estoque norte do bagre-branco.

## 6. Conclusões

### 6.1. *Estoque sul do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira*

- A condição do estoque sul do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira, no último ano com dados confiáveis disponíveis para avaliação, indica que estava sobre pescado (a biomassa de 2013 era menor do que a biomassa necessária para o rendimento máximo sustentável), mas não sofria sobre pesca (a mortalidade por pesca em 2013 era menor do que a mortalidade que resultaria no rendimento máximo sustentável);

- A proporção da biomassa do estoque sul em 2013 estava em torno dos 28.5% da biomassa que geraria o rendimento máximo sustentável ( $B_{MSY}$ )
- O rendimento máximo sustentável (MSY) estimado para o estoque sul foi de 1.734 t. O rendimento possível para o estado atual da biomassa,  $MSY95\%$  foi de 1.448 t;
- O Limite Biologicamente Aceitável *LBA* foi de 1245 t e o Limite de Captura Anual *LCA* estimado foi de 934 t.
- Assumindo que as capturas foram zeradas a partir de 2014, quando o bagre-branco foi incluso na lista de espécies ameaçadas, as projeções de biomassa indicariam que o estoque sul teria 52% de probabilidade de estar recuperado em 2024.
- Assumindo que as capturas incidentais se amntiveram entre 100 e 300 t a partir de 2014, as projeções de biomassa indicariam que o estoque sul teria de 35 a 46% de probabilidade de estar recuperado em 2024.

#### ***6.2. Estoqe norte do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira***

- A condição do estoque norte do bagre-branco ao longo da margem meridional brasileira, no último ano com dados confiáveis disponíveis para avaliação, indica que estava sobre pescado (a biomassa de 2022 era menor do que a biomassa necessária para o rendimento máximo sustentável), mas não sofria sobre pesca (a mortalidade por pesca em 2022 era menor do que a mortalidade que resultaria no rendimento máximo sustentável);
- A proporção da biomassa do estoque sul em 2022 estava em torno dos 84% da biomassa que geraria o rendimento máximo sustentável ( $B_{MSY}$ )
- O rendimento máximo sustentável (MSY) estimado para o estoque sul foi de 2.029 t. O rendimento possível para o estado atual da biomassa,  $MSY95\%$  foi de 2.025 t;
- O Limite Biologicamente Aceitável *LBA* foi de 1.803 t e o Limite de Captura Anual *LCA* estimado foi de 1.353 t.

## Referências

- Brodziak, J., & Ishimura, G. (2011). Development of bayesian production models for assessing the North Pacific swordfish population. *Fish. Sci.* 77, 23–24.
- Chaloupka, M., & Balazs, G. (2007). Using bayesian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock. *Ecological Modelling.* 205: 93–109.
- Figueiredo, J.L. & Menezes, N.A. (1978). Manual de peixes marinhos do Sudeste do Brasil. II Teleostei (1). São Paulo, Universidade de São Paulo, Museu de Zoologia. 110p.
- Freire, K.M.F., Almeida, Z.D.S.D., Amador, J.R.E.T., Aragão, J.A., Araújo, A.R.D.R., Ávila-Silva, A.O., ... & Vianna, M. (2021). Reconstruction of marine commercial landings for the Brazilian industrial and artisanal fisheries from 1950 to 2015. *Frontiers in Marine Science*, 8, 659110.
- Freire, K.M.F., Almeida, Z.D.S.D., Amador, J.R.E.T., Aragão, J.A., Araújo, A.R.D.R., Ávila-Silva, A.O., ... & Vianna, M. (2021). Reconstruction of marine commercial landings for the Brazilian industrial and artisanal fisheries from 1950 to 2015. *Frontiers in Marine Science*, 8, 659110.
- Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., & Rubin, D.B. (2004). *Bayesian Data Analysis*. Chapman & Hall, New York. 695 p.
- Gomes, I.D. & Araújo, F.G. (2004). Reproductive biology of two marine catfishes (siluriformes, Ariidae) in the sepetiba bay, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 52, 143-156.
- Gulland, J. (1983). *Fish Stock Assessment: a manual of basic methods*. Wiley, New York. 223 p.
- Haimovici, M. & Cardoso, L. G. (2017). Long-term changes in the fisheries in the Patos Lagoon estuary and adjacent coastal waters in Southern Brazil. *Marine Biology Research (Online)*, v. 13, p. 135-150
- Hilborn, R. (1979). Comparison of fisheries control system that utilize catch and effort data. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 36, 1477–1489.

- Hilborn, R., & Walters, C.J. (1992). Quantitative Fisheries Stock Assessment: choice, dynamics and uncertainty. New york: Chapman and Hall. 570 p.
- IBAMA. (1993). Peixes demersais. Relatório da III Reunião do Grupo Permanente de Estudos (GPE) sobre peixes demersais, realizada no período de 1 a 5 de abril de 1991, no Centro de Pesquisa e Extensão Pesqueira das Regiões Sudeste e Sul (CEPSUL), Itajaí, SC. Coleção Meio Ambiente, Série Estudos - Pesca. nº. 8, 93p.
- Kell, L. T., Sharma, R., & Winker, H. (2022). Artefact and artifice: Evaluation of the skill of catch-only methods for classifying stock status. *Frontiers in Marine Science*, 9, 762203.
- Kinas, P G., & Andrade, H.A. (2010). Introdução à Análise Bayesiana (com R). Porto Alegre: MaisQnada Editora. 200 p.
- Kruschke, J.K. (2014). Doing Bayesian Data Analysis: a tutorial with R, JAGS and Stan. Oxford: Academic Press Elsevier. 776 p.
- Ludwig, D., & Walters, C. J. (1989). A robust method for parameter estimation from catch and effort data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 137–144.
- Ludwig, D., & Walters, C.J. (1985). Are age structured models appropriate for catch-effort data? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1066–1072
- McAllister e Kirkwood, 1998;
- Mendonça, J.T., Quito, L., Jankowsky, M., Balanin, S. & Neto, D.G. (2017). Diagnóstico da pesca do bagre-branco (*Genidens barbus* e *G. planifrons*) no litoral sudeste-sul do Brasil: subsídios para o ordenamento. Série Relatórios Técnicos do Instituto de Pesca, 56, 1-77.
- Menezes, N.A., Buckup, P.A., Figueiredo, J.L. & Moura, R.L. (2003). Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.
- Millar, R., & Meyer, R. (2000). Non-linear state-space modeling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis-Hastings within Gibbs-sampling. *J. R. Stat. Soc. Ser. C (Applied Stat.)*. 49, 327–342.
- Mourato, B. & Martins, R. (2017). Análise das pescarias do bagre-branco, peixe-batata e garoupa-verdadeira no sudeste-sul do Brasil. Oceana, 12p.

- Pella, J.J., & Tomlinson, P.K. (1969). A generalized stock production model. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*. 13(3), 416–497.
- Perez, J.A.A. & Sant'Ana, R. (2022). A pesca Demersal nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil: Síntese Espacial e Modelo de Gestão baseada no Ecossistema. Relatório Final do Projeto MEEE PDSES - Subsídios Científicos para o Manejo Espacial e com Enfoque Ecossistêmico da Pesca Demersal nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Chamada MCTI/ MPA/ CNPq no. 22/ 2015, Ordenamento da Pesca Marinha Brasileira. Processo 445782/ 2015, 2022.
- Punt, A.E. (2003). Extending production models to include process error in the population dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60, 1217–1228.
- Reis, E. G. (1986). A pesca artesanal de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) no estuário da Lagoa Dos Patos, RS, Brasil. Documentos Técnicos 05. FURG, Rio Grande, 21p.
- Schmidt, T.C.S., Martins, I.A., Reigada, A.L.D. & Dias, J.F. (2008). Taxocenose de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) da região estuarina de São Vicente, SP, Brasil. *Biota Neotrop.* 8(4): 73-81.
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1999). Introduction to tropical fish stock assessment. FAO Fisheries Technical Paper. No. 306.1, Rev. 2.
- Velasco, G., Reis, E. G. & Vieira, J. P. (2007). Calculating growth parameters of *Genidens barbus* (Siluriformes, Ariidae) using length composition and age data. *Journal of Applied Ichthyology*, 23(1), 64-69.
- Wakefield, J. (2013). Bayesian and frequentist regression methods (Vol. 23). New York: Springer.
- Winker, H., Carvalho, F., & Kapur, M. (2018). JABBA: just another Bayesian biomass assessment. *Fish. Res.* 204, 275–288.