

**SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA PESCA SELETIVA
SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO
SURUBIM *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz,
1829) (Pisces: Pimelodidae)**

RICARDO VITOR RIBEIRO DOS SANTOS

2008

RICARDO VITOR RIBEIRO DOS SANTOS

**SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA PESCA SELETIVA SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO SURUBIM *Pseudoplatystoma
corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Estatística e Experimentação
Agropecuária para a obtenção do título de "Mestre".

Orientadora
Profa. Dra. Solange Gomes Faria Martins

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Santos, Ricardo Vitor Ribeiro dos.

Simulação dos efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae) / Ricardo Vitor Ribeiro dos Santos. – Lavras : UFLA, 2008.

46p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Solange Gomes Faria Martins.

Bibliografia.

1. Peixe. 2. Surubim. 3. Dinâmica populacional. 4. Modelo Penna.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-639.375

RICARDO VITOR RIBEIRO DOS SANTOS

**SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA PESCA SELETIVA SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO SURUBIM *Pseudoplatystoma
corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação em Estatística e Experimentação
Agropecuária para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 29 de fevereiro de 2008

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA

Prof. Dr. Samuel Maier Kurcbart

UFSJ

Profa. Dra. Solange Gomes Faria Martins
UFLA
(Orientadora)

**LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL**

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Inês, que desde a minha infância acreditou e investiu em mim, pela dedicação e carinho. Agradeço também pela segurança e apoio que sempre me passou.

Aos meus irmãos queridos, Paula e André, pelo apoio e amizade, e por estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

A minha noiva, Angelita, por todo o seu amor e carinho.

Ao meu tio, João, pelo incentivo nos momentos de desânimo.

Enfim, durante todo este tempo, tive o apoio, a compreensão, o companheirismo, o carinho e o conforto dessas queridas pessoas, o que me deu condições para a conclusão deste trabalho e forças para superar os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Exatas, pela oportunidade de concretização do Mestrado.

À professora Dra. Solange Gomes Faria Martins, pela orientação, ensinamentos, amizade, conselhos, apoio, disponibilidade, atenção, compreensão e confiança durante os últimos dois anos.

Ao professor Dr. Paulo dos Santos Pompeu, pelos esclarecimentos, pela boa vontade, paciência e amizade, durante os últimos semestres.

A todos os professores que contribuíram para o enriquecimento dos conhecimentos indispensáveis a este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas, pela eficiência e amizade.

Ao diretor e à vice-diretora da escola onde trabalho, Iran e Jeanete, por terem me dado força e, principalmente, por contribuírem para a minha formação.

A Ana Paula, por ter me substituído nas aulas em que precisei.

Aos colegas de turma: Betânia, Elisa, Gabriela, Geraldino, Luciana, Natascha, Marcelino (Popó), Fabrícia, Ricardo (Little), Renato, Tiago e Vânia, pela amizade.

Aos amigos e companheiros Tiago e Marcelino, por terem me acolhido em casa durante o ano.

Ao grupo de estudos formado por Marcelino, Renato e Tiago, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos do Departamento, Anderson, Ademária, Fabrícia, Dorival, Tatá, Ricardo Luis, Fabrício, Crystian, Graziela e Verônica, pela amizade ao longo do curso.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1:	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 Efeitos da pesca seletiva	5
2.2 Evolução fenotípica e seleção diferencial	8
2.3 Modelo Penna	10
2.4 Modelo de crescimento de von Bertalanffy	14
2.5 Aspectos relativos à pesca e à biologia do surubim	16
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 2: SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA PESCA SELETIVA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO SURUBIM	24
RESUMO	25
ABSTRACT	26
1 INTRODUÇÃO	27
2 METODOLOGIA	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4 CONCLUSÃO	44
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

- 1.1 Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de surubim (*P. corruscans*) no rio Cuiabá, MT (Mateus & Penha, 2007). 18
- 2.1 Idade média de maturação (\bar{I}_m), comprimento médio de maturação (\bar{L}_{50}) e taxa de crescimento médio (\bar{K}) do estoque de surubim (*P. corruscans*) para uma população sem pesca e sujeita à pesca seletiva para diferentes β_s , por meio de simulação. 34
- 2.2 Fator de ajuste (β_1), taxa de crescimento médio (\bar{K}), idade média de maturação (\bar{I}_m) e comprimento médio de maturação (\bar{L}_{50}) do surubim (*P. corruscans*) para uma população sem pesca e uma sujeita à pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$), por meio de simulação. 42

LISTA DE FIGURAS

1.1	"Genótipo" do indivíduo representado por uma palavra computacional de 32 bits. Os bits setados em 1 representam mutações deletérias e os bits setados em 0, ausência de mutações.	11
1.2	Obtenção do "genótipo" do filho, em que foram escolhidos aleatoriamente os bits 4 e 7 para inserir as mutações deletérias.	12
1.3	Curvas com diferentes taxas de crescimento. $K = 0,1 \text{ ano}^{-1}$ (círculo), $K = 0,2 \text{ ano}^{-1}$ (cruz) e $K = 0,9 \text{ ano}^{-1}$ (asterisco) sendo $L_{\infty} = 100 \text{ cm}$ e $j_0 = 0 \text{ anos}$	15
1.4	Surubim (<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>)	16
2.1	Comprimento em função da idade do surubim (<i>P. corruscans</i>). População sem pesca (curva pontilhada). População com pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, curva tracejada) e ($\beta_m = \beta_s = 0,5$, curva contínua).	32
2.2	Peso em função da idade do surubim (<i>P. corruscans</i>). Sem pesca (linha contínua). Pesca seletica com $\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$ (linha tracejada) e para $\beta_m = \beta_s = 0,5$ (linha com ponto e traço).	35
2.3	Curvas de seletividade em função do comprimento L para o surubim (<i>P. corruscans</i>) obtidas por meio de simulações (curva contínua, $\beta_s = 0,5$) e (curva tracejada, $\beta_s = 0,1$).	36
2.4	Distribuição de freqüência do número de bits 1 (θ) no fenótipo. Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.	37

2.5	Curvas de maturação do surubim (<i>P. corruscans</i>) em função do comprimento. População sem pesca (círculo). População com pesca seletiva variando o coeficiente de seletividade: ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, triângulo) e ($\beta_m = \beta_s = 0,5$, cruz).	38
2.6	Evolução temporal do tamanho da população de surubim (<i>P. corruscans</i>) obtida por meio de simulações durante 100.000 etapas temporais (anos). Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.	39
2.7	Distribuição de frequência da idade de maturação do surubim (<i>P. corruscans</i>). (a) Sem pesca. (b) Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.	40
2.8	Curvas de sobrevivência do surubim (<i>P. corruscans</i>). Sem pesca (curva contínua). Sujeita à pesca seletiva: curva tracejada, $\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$ e curva com traço e ponto, $\beta_m = \beta_s = 0,5$	41
2.9	(a) Evolução temporal do tamanho da população. (b) Curvas de maturação. (c) Curvas de sobrevivência. (d) Peso em função da idade. (e) Distribuição de frequência de idade de maturação. (f) Curva de seletividade. (g) Distribuição de frequência do número de bits 1. (h) Comprimento em função da idade. Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$), com pesca seletiva.	43
2.10	(a) Taxa de crescimento médio (\bar{K}) vs. idade média de maturação (\bar{I}_m). (b) Relação linear entre ($\frac{L_{50}}{KL_{\infty}}$) e a idade média de maturação (\bar{I}_m). População sem pesca (asterisco). População com pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, círculo).	44

RESUMO

SANTOS, Ricardo Vitor Ribeiro dos. **Simulação dos efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**. 2008. 46 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Neste trabalho foram realizadas simulações computacionais, utilizando-se o modelo Penna (Penna, 1995) de envelhecimento biológico e o modelo de crescimento de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938), com o objetivo de estudar aspectos relativos à dinâmica populacional do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae). Para tal, foram feitas adaptações ao modelo Penna, de acordo com as características biológicas desse peixe, a partir de dados experimentais obtidos na literatura científica. Foram realizadas simulações da dinâmica populacional do surubim sob o efeito de pesca seletiva, obtendo-se o tamanho médio populacional, a taxa de crescimento médio, as curvas de sobrevivência e de maturação. Os resultados obtidos indicam que a simulação pode ser um instrumento apropriado para a compreensão da dinâmica de população desta espécie e para o estabelecimento de estratégias de regulamentação de sua pesca.

*Orientadora: Solange Gomes Faria Martins – UFLA

ABSTRACT

SANTOS, Ricardo Vitor Ribeiro dos. **Simulation of the effects of selective fishing on the growth characteristics of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**. 2008. 46 p. Dissertation (Master in Statistics and Agropecultural Experimentation) - Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Simulations were performed using the Penna model (Penna, 1995) of biological aging and the von Bertalanffy growth model (Bertalanffy, 1938) to study aspects of populational dynamics of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae). Penna model have been adjustmented for the biological characteristics of that fish, from experimental data obtained in the literature. Simulations of the populational dynamics of surubim were performed under the influence of selective fishing, computing the populational mean size, the average growth rate, the survival curves and maturation. Results indicate that simulation can be an appropriate tool for understanding the dynamics of population of this species and for establishing management strategies for fishing.

*Committee: Solange Gomes Faria Martins – UFLA

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Freqüentemente, estudos científicos vêm comprovar que a ação humana, quando predatória e irracional, coloca sob ameaça várias espécies da flora e da fauna. Estudo realizado pelo Conselho Internacional para a Exploração do Mar (ICES), organização que reúne especialistas de toda a Europa, trouxe notícias devastadoras para a indústria pesqueira. Na Grã-Bretanha, com a proibição da pesca do bacalhau, cujos cardumes foram severamente reduzidos por séculos de pesca excessiva, milhares de trabalhadores poderão ficar sem empregos. Nas últimas décadas, a modernização da indústria pesqueira tornou a captura mais eficiente e acelerou o processo de extinção. Atualmente, não só os cardumes estão menores, os peixes também. Durante anos, os animais maiores foram intensamente capturados, fazendo com que a população remanescente da espécie seja descendente de peixes menores, de valor comercial reduzido. Nos últimos 20 anos, a população de bacalhau ficou abaixo do mínimo necessário para sustentar a sobrevivência da espécie. Além da pesca excessiva, o próprio ciclo reprodutivo do bacalhau dificulta a recuperação de seus estoques. De cada 20 filhotes, apenas um consegue sobreviver o tempo suficiente para chegar à maturidade sexual (até 6 anos) e, daí, reproduzir. Devido a isso, cientistas acreditam que a recuperação da espécie demorará anos (Osborn & Brown, 2001).

Em ambientes de água doce na América do Sul peixes migradores (de piracema) vêm sendo dizimados em ritmo acelerado sem que técnicas adequadas de produção sejam estabelecidas em função, principalmente, do desconhecimento da sua dinâmica populacional. Sabe-se que os peixes migradores, dentre eles o surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*), além de serem vulneráveis à concentração indiscriminada do esforço de pesca sobre seus cardumes na época da reprodução, são ainda ameaçados constantemente pelas alterações ambientais advindas do uso múltiplo dos sistemas pluviais, principalmente

em relação às alterações de características das enchentes e barramentos de rios, que têm como conseqüências mudanças nas populações ictícas, determinando a diminuição dos seus estoques (Miranda, 1997).

Observações recentes mostram um declínio no tamanho e na idade de maturação de algumas espécies de peixes altamente exploradas, devido à pesca seletiva (Beyer, 2007). A explicação mais óbvia é que a exploração, pela redução na biomassa do estoque, libera-os de algumas pressões de competições intra-específicas. O efeito dessa liberação pode se manter por meio da história da vida, possibilitando um lento crescimento e uma precoce maturação. Contudo, dependendo das condições ambientais, essas mudanças fenotípicas podem evoluir, seguindo diferentes caminhos.

O surubim ou pintado é a espécie nativa de maior valor econômico da piscicultura brasileira, tendo seu cultivo se espalhado rapidamente pelas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país. Ocorrendo nas bacias do Paraná, Paraguai e São Francisco, esse animal é um dos principais alvos, tanto da pesca profissional, quanto da amadora. Esse interesse tornou-o candidato natural à exploração comercial. Diante destes fatos, suas populações nativas estão sendo reduzidas e, em algumas sub-bacias, ele praticamente desapareceu (Souza et al., 2006).

Dada a importância de entender a dinâmica populacional do surubim e de traçar estratégias de pesca, é proposto, neste trabalho, um modelo para a dinâmica populacional deste peixe, usando dados experimentais relatados por Mateus & Penha (2007). Considerando a necessidade de uma estrutura etária, utilizaram-se o modelo Penna (Penna, 1995), em sua versão assexuada e o modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938), pois os indivíduos da população mudam o tamanho em função da idade.

Assim, este trabalho está estruturado em dois capítulos: no primeiro, são apresentadas informações relativas ao efeito da pesca seletiva, da evolução fenotípica e da seleção diferencial, a descrição dos modelos Penna e von Bertalanffy e os aspectos re-

lativos à biologia e à pesca do surubim; no segundo, são apresentadas as simulações do efeito de pesca seletiva sobre a dinâmica populacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Efeitos da pesca seletiva

Há muito tempo se sabe que, na pesca seletiva, por remover os peixes maiores e mais velhos, inadvertidamente captura os peixes que são geneticamente predispostos ao crescimento rápido e maturação tardia, criando uma pressão seletiva que deve, teoricamente, favorecer indivíduos de crescimento lento e maturação precoce (Berkeley et al., 2004). No entanto, esta questão tem sido amplamente ignorada na prática da pesca que, implicitamente, assume que as populações exploradas vão sempre manter suas taxas de produtividade inerentes e retornarão aos seus níveis anteriores de abundância.

De acordo com a teoria evolutiva da vida, uma baixa sobrevivência de adultos favorece a seleção de indivíduos que apresentam maturação precoce e investem maior quantidade de recursos na reprodução. Por outro lado, uma redução na sobrevivência de jovens favorece a seleção de indivíduos que apresentam maturação tardia e investem mais recursos no crescimento. Portanto, espera-se que a grande exploração de adultos, por meio da pesca seletiva, leve a altas taxas de mortalidade entre os peixes maiores e mais velhos, resultando em uma pressão de exploração na população, favorável aos peixes que se tornem maduros com uma idade menor e que invistam mais em reprodução, gerando uma prole menor e com menor tamanho em relação àquelas populações que sofrem uma maior mortalidade de jovens (Jobling, 1996).

Quando todos acreditavam estar fazendo um favor à natureza ao permitir que pescadores esportivos e profissionais só pegassem os maiores peixes, Munch et al. (2005), após quatro anos de experimentação, apresentaram resultados impressionantes, lidando com populações da manjuba (*Menidia menidia*), parente da sardinha, em tanques controlados. Eles decidiram coletar apenas os peixes maiores, simulando os efeitos da pesca seletiva. O resultado foi uma redução significativa na taxa de crescimento médio dos

peixes, após apenas quatro gerações. No entanto, há uma grande diferença entre o que ocorre em um tanque e na natureza. A pressão evolutiva acontece nos dois, mas o ritmo é diferente. Com certeza, na natureza, levaria mais tempo para isso acontecer.

Recentemente, Garcia (2006) realizou uma pesquisa a respeito da influência da pesca seletiva sobre o comprimento médio de maturação em algumas espécies de peixes do Pantanal, MS. Seu trabalho revelou uma diminuição do tamanho de maturação para o curimatá (*Prochilodus lineatus*) e para o dourado (*Salminus brasiliensis*), como consequência da pesca seletiva, exercida naturalmente pelos pescadores e amparada por legislação que determina tamanho mínimo de captura para estas e outras espécies no Pantanal. Comparando dados das décadas de 1970 a 1990 e de 2000 a 2005, Garcia (2006) constatou que o dourado (*Salminus brasiliensis*) se reproduz, atualmente, com tamanho 40% menor, ou seja, de 58,8 cm baixou para 34,7 cm, em média. Já o curimatá (*Prochilodus lineatus*) teve perda de 18,5%, passando de 31,9 cm para 26,0 cm. Como causa desse fenômeno, a pesquisadora apontou a remoção seletiva de indivíduos maiores, por meio da pesca, ao longo de várias gerações.

Devido ao efeito da pesca seletiva, Barbieri et al. (2004) enumeraram várias táticas reprodutivas que podem ser identificadas em populações de peixes, no sentido de as espécies recuperarem o equilíbrio populacional. Dentre elas, estão redução no tamanho e idade de primeira maturação gonadal, mudança na taxa de crescimento e na fecundidade. Segundo Law (2000), o início da reprodução representa uma fase crítica na vida do indivíduo, pois, antes, o recurso de alimento era destinado apenas para o crescimento e a sobrevivência, e, com a pesca seletiva, este passa a ser destinado para a reprodução, ou para sobrevivência e crescimento.

Dieckmann et al. (2004) afirmaram que os bacalhaus (*Gadus morhua*) capturados em algumas regiões do Ártico Norte estão 30% menores do que os que eram encontrados há 60 anos. Se, hoje, os adultos desta espécie têm, em média, 65 centímetros de compri-

mento, na década de 1940, costumavam atingir 95 centímetros. Segundo Dieckmann et al. (2004), o que se passa com esse peixe é um exemplo das consequências da exploração excessiva dos recursos marinhos. Eles acreditam que a pesca comercial esteja exercendo uma pressão evolutiva sobre o bacalhau e outras espécies de peixes.

Estudando espécimes do peixe cantarilho-negro (*Sebastes melanops*), do Pacífico, Berkeley et. al. (2004) descobriram que as fêmeas mais velhas e maiores tendiam a desovar mais tarde e a pôr mais ovos. Não só isso, as larvas nascidas desses ovos cresciam três vezes mais depressa e resistiam mais a períodos de fome do que as nascidas de fêmeas mais jovens. Isso acontece porque fêmeas mais velhas tendem a ter, em seu corpo, maiores quantidades de triaciglicerol, um lipídio altamente energético. Quantidades maiores dessa substância acabam sendo transferidas para os filhotes. A eliminação das fêmeas mais velhas, juntamente com o restante dos indivíduos maiores, que é a regra no manejo de pesca moderno, acaba afetando o perfil genético da espécie. Os peixes mais velhos são responsáveis pela recomposição das populações. Se a constituição genética da população continuar a ser alterada, os peixes menores e que crescem mais devagar serão favorecidos.

A pesca seletiva assume que, a partir de um certo tamanho, todos os peixes têm a mesma probabilidade de serem capturados. Esse tipo de pesca usa redes de arrasto com modelos de seletividade que apresentam elevado poder de exploração sobre os peixes maiores. Quanto maior o seu comprimento, maior é a probabilidade de ele ser capturado.

Vários estudos relativos à pesca seletiva utilizaram o modelo de seletividade em função do comprimento. Encontram-se, na literatura, trabalhos baseados nesse modelo, tais como: estimativa do efeito da estrutura do comprimento no rendimento por recruta para o bacalhau do norte (Kvamme & Bogstad, 2007); efeito da pesca sobre as características de crescimento: uma análise de simulação (Williams & Shertzer, 2005); influência da pesca seletiva sobre o comprimento médio de maturação em populações de dourado

(*Salminus brasiliensis*), piraputanga (*Brycon hilarii*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*) no Rio Miranda, MS (Garcia, 2006) e dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Mateus & Penha, 2007).

2.2 Evolução fenotípica e seleção diferencial

O local da pesca é, muitas vezes, não aleatório em relação à distribuição espacial dos estoques, sendo concentrado onde o efeito da biomassa é maior e ou onde os peixes são mais acessíveis, portanto, gerando desequilíbrio local. Várias pesquisas (Law, 2000; Williams & Shertzer, 2005; Munch et al., 2005; Dieckmann et al., 2004) têm mostrado que a pesca seletiva pode alterar a composição genética das populações exploradas pela remoção seletiva dos indivíduos.

As características fenotípicas, tais como taxa de crescimento, tamanho, massa corporal, maturação e fecundidade, influenciam diretamente o rendimento dos indivíduos. Simplesmente por meio da ação da pesca, os pescadores geram seleção, causando uma rápida mudança genética que altera esse rendimento.

A evolução fenotípica, habilidade que a espécie tem de alterar seu comportamento, fisiologia ou morfologia, dependendo do ambiente, permite que os indivíduos respondam rapidamente às alterações causadas pela pesca seletiva sobre as condições ambientais (Dieckmann, 2004). Porém, ela nem sempre é satisfatoriamente explicada pelas mudanças ambientais. Em alguns casos, a seleção diferencial devido à pesca pode ser um fator contribuidor (Law, 2000). Segundo Williams & Shertzer (2005), a seleção diferencial gerada pela pesca seletiva é muito grande.

Para entender melhor a seleção diferencial, suponha que você conheça o valor médio de algumas características fenotípicas de uma espécie qualquer, antes de os pescadores partirem para o mar. Depois de algumas semanas, você poderá observar a variação dessas características devido à pesca seletiva. A diferença entre os valores médios das

características fenotípicas, antes e depois da pesca, é chamada de seleção diferencial e é crucial entender a evolução causada pela pesca seletiva, pois ela pode ser oriunda de variações genotípicas e ou fenotípicas. A seleção diferencial imposta pelo manejo de pesca propõe dependência sobre o tamanho e a variação fenotípica também pode ser causada por diferenças genéticas entre os indivíduos (Law, 2000).

Rowell (1993) avaliou a seleção diferencial causada pela pesca seletiva do bacalhau (*Gadus morhua*) no mar Barents, nos anos de 1980 e 1987. Na década de 1980, a diferença no comprimento médio em função da idade no estoque, antes e depois da pesca, foi de 1 cm, com malha de tamanho 80. Em 1987, passou para 2 cm. Essa alteração é resultado do aumento da malha para 85.

Rijnsdorp (1993) tentou desvendar a causa de maior mudança fenotípica na maturação do peixe plaice (*Pleuronectes platessa*), no mar Norte da Inglaterra, desde o início do século XX. Neste período, as fêmeas maturavam a partir do 5º e 6º anos de idade, com um comprimento de 32 a 35 cm, aproximadamente. Durante o ano de 1940 a 1960, estas fêmeas maturaram quase 2 anos antes e com tamanhos menores. Uma parte na mudança da maturação permanece inexplicada, porém é consistente que houve uma seleção diferencial suficientemente grande.

No Brasil, Feitosa et al. (2004) revelaram que houve uma redução no tamanho do dourado (*Salminus brasiliensis*) no rio Paraná, resultado da elevada seleção diferencial causada pelo aumento no esforço de pesca.

Além dos citados aqui, existem muitos trabalhos na literatura discutindo as mudanças no crescimento de estoques de peixes. Evidentemente, estas mudanças são, às vezes, imediatas conseqüências de alterações no ambiente físico e biótico. Nem todas podem ser aceitas como efeitos diretos da evolução fenotípica, no entanto, algumas, provavelmente, são devido às mudanças na distribuição do genótipo desencadeadas pela seleção diferencial.

2.3 Modelo Penna

O Modelo Penna, também conhecido como modelo de "Bit-String", foi proposto, em 1995, por T. J. P. Penna (Penna, 1995) e, desde então, tem sido amplamente utilizado para estudar aspectos referentes ao envelhecimento biológico por meio das técnicas de simulações de Monte Carlo (Sherer, 2005). Fundamenta-se na teoria da seleção natural de Darwin para evolução das espécies e na teoria do acúmulo de mutações.

A versão sexuada do modelo foi proposta em 1996, por Bernardes (Bernardes, 1996) e é uma adaptação da versão assexuada do modelo Penna (Penna, 1995), sendo considerados os mesmos passos: nascimento, reprodução, morte por acúmulo de mutações e pelo fator de Verhulst. A diferença entre as duas versões está na representação do "genótipo" dos indivíduos, na forma de reprodução e na contagem do número acumulado de mutações deletérias.

Neste modelo, cada indivíduo da população é representado por palavras computacionais formadas por B bits ou sítios que são preenchidos por variáveis binárias com valores 0 ou 1, podendo, assim, armazenar informação de forma simples e compacta, sem utilizar muito espaço de memória. Além disso, permite manipular bit a bit por meio de operações lógicas (AND, OR e XOR). Dessa forma, é possível fazer simulações com populações grandes e evoluções temporais longas.

Na versão assexuada do Modelo Penna (Penna, 1995), cada indivíduo de uma população de tamanho $N(t)$, sendo t uma etapa temporal, é representado por uma palavra computacional de B bits, sendo esta interpretada como o seu "genótipo".

As simulações de Monte Carlo para o modelo Penna são realizadas, comumente, tomando-se uma população inicial de N_0 indivíduos com idade zero no instante $t = 0$. Existem, pelo menos, duas estratégias para determinar os "genótipos" dos indivíduos da população inicial. Na primeira, os "genótipos" são livres de mutação, ou seja, possuem todos os bits setados em 0 e, na segunda, os "genótipos" são gerados aleatoriamente.

Para ambas as estratégias, os resultados são, qualitativamente, os mesmos (Medeiros, 2001).

O "genótipo" de cada indivíduo contém informações de quando o efeito de uma mutação deletéria estará presente (bit setado em 1) ou não (bit setado em zero) durante a vida do indivíduo. É assumido que cada bit corresponde a uma "etapa do tempo de vida do indivíduo" (hora, dia, mês, ano, etc.) e que ele poderá sobreviver, no máximo, até a idade $B - 1$ bits. Assim, a idade é uma variável discreta que varia de 0 a $B - 1$. Se, na idade i da vida do indivíduo, o i -ésimo bit no "genótipo" for 1, ele sofrerá os efeitos de uma mutação deletéria naquela e em todas as idades seguintes da sua vida. Um indivíduo poderá permanecer vivo enquanto o número de mutações deletérias até a sua idade atual for menor que um limiar T .

Como ilustração, considere o "genótipo" de um indivíduo representado por uma palavra computacional de 32 bits (Figura 1.1). Nesse caso, o indivíduo poderá sobreviver, no máximo, até a idade 31. Nas idades 1, 3, 5 e 7, o bit está setado em 1 e, conseqüentemente, o indivíduo sofrerá os efeitos da mutação deletéria nessas idades e em todas as idades seguintes. Adotando-se, por exemplo, $T = 3$, esse indivíduo morrerá na idade 5, pois, nessa idade, ele atingirá o seu limite de mutações deletérias.

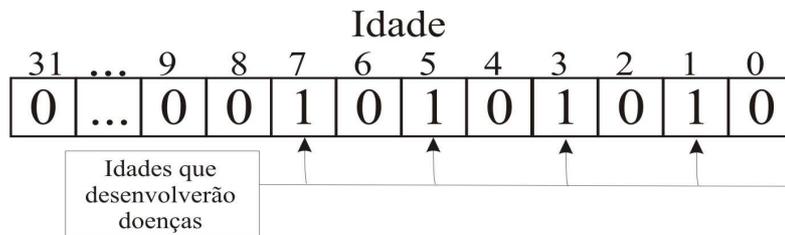


FIGURA 1.1: "Genótipo" do indivíduo representado por uma palavra computacional de 32 bits. Os bits setados em 1 representam mutações deletérias e os bits setados em 0, ausência de mutações.

Como a reprodução é assexuada, todos indivíduos são fêmeas, assim, quando eles atingirem a idade mínima de reprodução R , eles poderão gerar b filhos a cada idade

adicional. Para obter o "genótipo" do filho, é feita uma cópia do "genótipo" da mãe, em que é introduzido um número M de mutações deletérias em diferentes bits escolhidos aleatoriamente. Se um bit, dentre os M escolhidos, for zero no "genótipo" da mãe, ele passará a ser 1 no "genótipo" do filho. Por outro lado, se for 1 no "genótipo" da mãe, ele permanecerá 1 no "genótipo" do filho. Dessa forma, o "genótipo" do filho, na melhor das hipóteses, será igual ao "genótipo" da mãe (Figura 1.2).

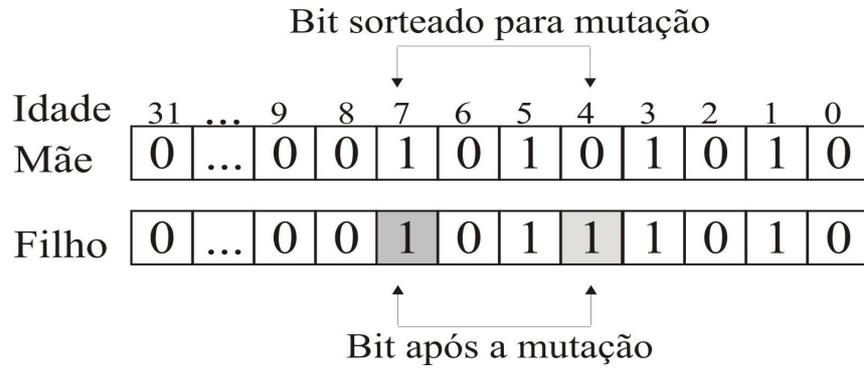


FIGURA 1.2: Obtenção do "genótipo" do filho, em que foram escolhidos aleatoriamente os bits 4 e 7 para inserir as mutações deletérias.

Embora mutações benéficas e deletérias sejam facilmente implementadas neste modelo, têm-se incorporado apenas os efeitos de mutações deletérias. A razão para isso é o fato de que, na natureza, as mutações de caráter deletério são mais frequentes que as benéficas.

Para manter o tamanho da população dentro dos limites de memória computacional, bem como modelar as restrições ambientais, tais como espaço e alimento, é incluído o fator de Verhulst. A cada etapa temporal t , o indivíduo que não tiver morrido pelo acúmulo de mutações poderá envelhecer e sobreviver à etapa temporal seguinte, com uma probabilidade dada por:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_{max}}, \quad (1.1)$$

sendo $N(t)$ o tamanho da população no tempo t e N_{max} o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta devido às restrições de espaço e alimento. Após todos os indivíduos terem sido testados para reprodução e morte, uma etapa temporal é concluída.

O modelo Penna utiliza os seguintes parâmetros:

- N_0 : tamanho inicial da população;
- N_{max} : capacidade de carga do ambiente;
- M : número de mutações;
- T : limite de mutações deletérias;
- R : idade mínima para reprodução;
- b : número de filhos por indivíduo, a cada reprodução.

Vários estudos relativos à teoria evolutiva foram bem explicados pelo Modelo Penna. Atualmente, é possível encontrar, na literatura especializada, uma grande quantidade de trabalhos baseados nesse modelo, tais como: acúmulo de mutações e senescência catastrófica do salmão do Pacífico (Penna & Moss de Oliveira, 1995); simulação do desaparecimento do bacalhau do norte (Moss de Oliveira et al., 1995); simulação da reprodução cíclica assexuada-sexuada (Sá Martins & Racco, 2001); estudo de microevolução na população de cabras das Ram Mountain (Brigatti et al., 2005); simulação da dinâmica populacional do pulgão *Aphis gossypii* (Giarola et al., 2006); simulação da dinâmica populacional do pulgão *A. gossypii* Glover, 1877 e sua interação com o parasitóide *L. testaceipes* (Cresson, 1880) (Souza, 2007) e simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro *L. coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (*Lepidoptera: Lyonetiidae*), utilizando a versão sexuada do modelo Penna (Oliveira, 2007).

2.4 Modelo de crescimento de von Bertalanffy

O estudo do crescimento consiste, basicamente, na determinação do tamanho do corpo em função da idade. A idade dos peixes que habitam águas temperadas pode ser, geralmente, obtida por meio da contagem dos anéis anuais em partes duras, tais como escamas e otólitos. Esses anéis são formados devido às fortes flutuações ambientais do verão e do inverno, e vice-versa. Já em áreas tropicais não ocorrem mudanças drásticas, assim, torna-se muito difícil, senão impossível, usar este tipo de anéis sazonais para a determinação de idades. Métodos foram desenvolvidos para uso em estruturas mais delicadas, chamadas anéis diários, para contar a idade dos peixes em número de dias. Estes métodos, no entanto, requerem equipamentos especiais e caros, portanto, não é possível que eles sejam aplicados como rotina em muitos lugares. Felizmente, foram desenvolvidos métodos que permitem a conversão de dados de frequência de idade em comprimento (Sparre & Venema, 1997).

Von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938) desenvolveu um modelo matemático de crescimento individual, o qual se tem demonstrado em acordo com o crescimento observado na maioria das espécies de peixes. Este modelo tornou-se um dos fundamentos básicos em biologia pesqueira, uma vez que ele pode ser usado para descrever dinâmicas de populações de qualquer ser vivo que tenha crescimento em função da idade.

Segundo o modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938), o tamanho do peixe, em função da idade j , é dado por:

$$L(j) = L_{\infty} \times [1 - e^{-K(j-j_0)}], \quad (1.2)$$

sendo $L(j)$ o comprimento em função da idade j ; L_{∞} o comprimento assintótico e K a taxa de crescimento, parâmetro de curvatura que determina a velocidade com que o peixe se aproxima do seu L_{∞} (Figura 1.3). O parâmetro j_0 é a idade teórica em que o tamanho

do peixe é zero.

Vários estudos relativos ao crescimento em função da idade utilizaram o modelo de von Bertalanffy. Encontram-se, na literatura especializada, trabalhos baseados nesse modelo, tais como: estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos Zebu, criados no estado de Pernambuco (Santoro et al., 1999); utilização de dois modelos não-lineares no estudo da curva de crescimento de tourinhos Pampa Chaqueño no Paraguai (Martines et al., 2007) e biologia e pesca do timbiro (*Pterengraulis atherinoides*) do açude Pereira de Miranda (Pentecoste, Ce) (Silva et al., 2005).

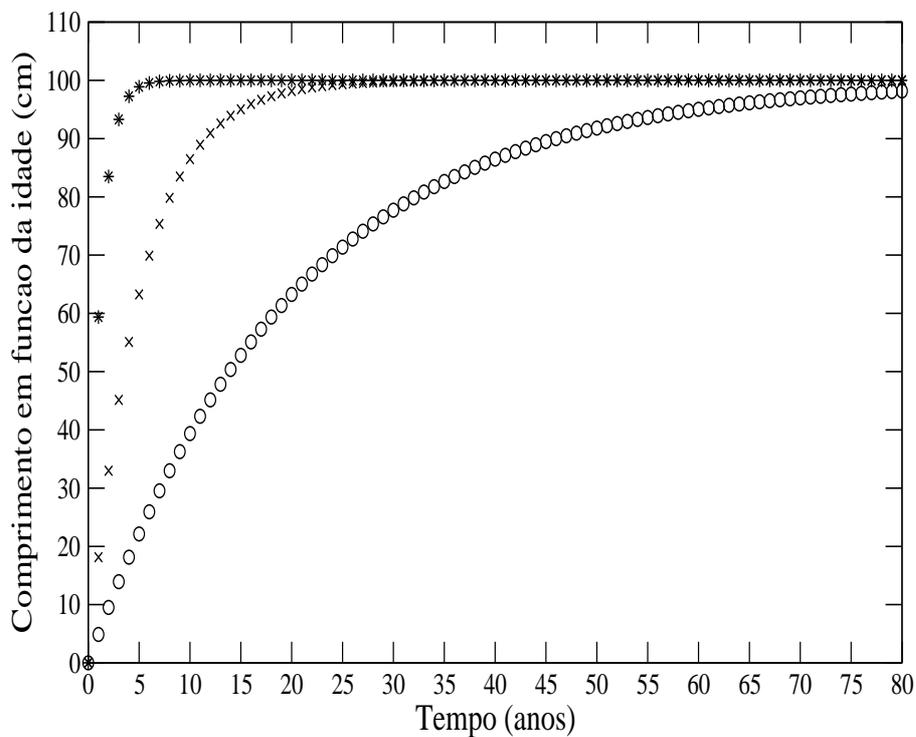


FIGURA 1.3: Curvas com diferentes taxas de crescimento. $K = 0,1 \text{ ano}^{-1}$ (círculo), $K = 0,2 \text{ ano}^{-1}$ (cruz) e $K = 0,9 \text{ ano}^{-1}$ (asterisco) sendo $L_{\infty} = 100 \text{ cm}$ e $j_0 = 0 \text{ anos}$.

2.5 Aspectos relativos à pesca e à biologia do surubim

A espécie *Pseudoplatystoma corruscans* é conhecida, popularmente, como surubim e, mais comumente, como pintado, pois seu corpo possui listras e pintas (Godinho et al., 1990) (Figura 1.4). Segundo Lauder & Liem (1983), a espécie ocupa a seguinte posição sistemática:

Super Classe: *Pisces*

Classe: *Osteichthyes*

Subclasse: *Actinopterygii*

Ordem: *Siluriformes*

Subordem: *Siluroidei*

Família: *Pimelodidae*

Gênero: *Pseudoplatystoma*

Espécie: *Pseudoplatystoma corruscans*

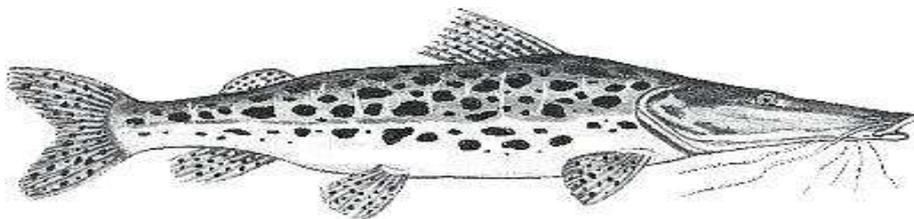


FIGURA 1.4: Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*)

A ordem *Siluriformes* inclui os chamados peixes de couro (Santos, 1981), cuja principal característica externa é a ausência de escamas pelo corpo, que é revestido apenas de pele espessa ou coberto, parcial ou totalmente, por placas ósseas. A família *Pimelodidae* compreende formas diversificadas, de porte variado, aberturas branquiais amplas e, freqüentemente, nadadeiras dorsal e peitoral precedidas por acúleo (Miranda, 1997).

Esta família, a mais numerosa da subordem, é composta por um grande número de gêneros e espécies de hábitos noturnos e dieta variada.

O gênero *Pseudoplatystoma* compreende os maiores peixes desta família e pode ser encontrado nas principais bacias hidrográficas da América do Sul: Amazônica, do Prata e do São Francisco (Miranda, 1997). As espécies deste gênero apresentam, como aspecto morfológico, o corpo alongado e roliço, com cabeça deprimida e largura ao nível da boca ligeiramente menor que a largura do corpo, mandíbula mais curta que a maxila superior e dentes viliformes no palato. De hábito alimentar carnívoro, principalmente piscívoro, é um dos peixes mais apreciados, por apresentar, em sua carne, poucas espinhas, podendo alcançar de 100 a 120 kg (Crepaldi et al., 2006). A importância comercial da espécie *P. corruscans* deve-se, principalmente, à alta qualidade de sua carne, ao alto valor de comercialização e à sua marcante participação na pesca comercial. Por isso, a espécie vem sofrendo esforço de pesca acentuado nas diferentes regiões em que ocorre (Marques, 1993).

Segundo Mateus & Penha (2007), bagres pimelodídeos, dentre eles o surubim, são os principais alvos nas capturas de peixes de água doce da América do Sul. Em 2000 e 2001, representaram 64% da captura no pantanal norte e, em 2002, 45% das capturas. Daí a importância de se estimar os parâmetros populacionais do surubim (Tabela 1.1) sob o efeito da pesca seletiva, para avaliar o estado de conservação do estoque e discutir alternativas para o manejo dessas espécies na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte.

O surubim é uma espécie que vem sendo explorada de forma acelerada, sem que manejos de pesca sejam estabelecidos, principalmente pelo desconhecimento da sua dinâmica populacional. Com a diminuição dos estoques naturais do surubim, Crepaldi et al. (2006) resolveram estudar a sua biologia reprodutiva para conhecer as características morfo-histológicas das gônadas, com o objetivo de fornecer subsídios para a determinação de procedimentos que permitam a sua produção em cativeiro.

TABELA 1.1: Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de surubim (*P. corruscans*) no rio Cuiabá, MT (Mateus & Penha, 2007).

Parâmetros	surubim
Comprimento assintótico (L_{∞})	149,7 cm
Taxa de crescimento médio (K)	0,127 ano ⁻¹
Idade teórica em que o comprimento é zero (j_0)	-0,871 ano
Comprimento médio da 1 ^a maturação (L_{50})	75,0 (66,7 - 84,5) cm
Idade média da 1 ^a maturação (I_m)	4,60 anos

Além do seu alto valor sócio-econômico e importância ecológica, trabalhos realizados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) demonstraram o potencial desta espécie para a piscicultura. Esses trabalhos, somados aos resultados obtidos em pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por Miranda (1997), sugerem que o surubim apresenta um crescimento total aparentemente isométrico. Considerando-se todos os seus índices zootécnicos e as características de rendimento de carcaça, esta espécie é credenciada como de alto potencial para a produção comercial.

Apesar da importância dessa espécie para pesca e ecossistemas de água doce, a dinâmica de sua população é ainda pouco conhecida.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIERI, G.; SALLES, F. A.; CESTAROLLI, M. A. Estratégias reprodutivas do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimatá, *Prochilodus lineatus* no rio Mogi Guaçu, SP., com ênfase nos parâmetros matemáticos da dinâmica populacional. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 169-174, 2004.

BERKELEY, S. A.; HIXON, M. A.; LARSON, R. J.; LOVE, M. S. Fisheries sustainability via protection of age structure and spatial distribution of fish populations. **Fisheries**, v. 29, n. 8, p. 23-32, 2004.

BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Heidelberg, v. 5, n. 6, p. 539-550, 1996.

BERTALANFFY, L. V. A quantitative theory of organic growth. **Human Biological**, v. 10, n. 2, p. 181-213, 1938.

BEYER, J. E.; ANDERSEN, K. H.; FARNSWORTH, K. D.; THYGESEN, U. H. **The evolutionary pressure from fishing on size at maturation of Baltic cod**. Northern Ireland: Elsevier, 2007. v.204, p. 246-252.

BRIGATTI, E.; SÁ MARTINS, J. S.; RODITI, I. Scaling properties of the Penna model. **The European Physical Journal B**, New York, v. 42, n. 3, p. 431-434, Dec. 2004.

BRIGATTI, E.; SÁ MARTINS, J. S.; RODITI, I. Sharp gene pool transition in a population affected by phenotype-based selective hunting. **The European Physical Journal B**, New York, v. 45, n. 4, p. 529-532, June 2005.

CREPALDI, D. V.; CARVALHO, D. C.; SOUSA, A. B.; MELO, D. C.; SEERIG, A. S.; OLIVEIRA, D. A. A.; RIBEIRO, L. P.; TEIXEIRA, E. A.; LOPES, V. E.; DRUMOND, M. L.; MORAES, V. E.; FARIA, P. M. C. Biologia reprodutiva do surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*). **Revista Brasileira de Reprodução de Animais**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 159-167, jul./dez. 2006.

DIECKMANN, U.; ERNANDE, B.; HEINO, M. Adaptive Changes in Harvested Populations: Plasticity and Evolution of age Size at Maturation. **The Royal Society**, v. 271, p. 415-423, 2004.

FEITOSA, L. A.; FENANDES, R.; COSTA, R. S.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A. Parâmetros populacionais e simulação do rendimento por recruta de *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) do alto rio Paraná. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 26, p. 317-323, 2004.

GARCIA, I. C. B. **Influência da pesca seletiva sobre o comprimento médio de maturação em populações de dourado (*Salminus brasiliensis*), piraputanga (*Brycon hilarii*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*) no Rio Miranda, MS.** 2006. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

GIAROLA, L. T. P.; MARTINS, S. G. F.; TOLEDO COSTA, M. C. P. Computer simulation of *Aphis gossypii* insects using Penna ageing model. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 368, n. 1, p. 147-154, Aug. 2006.

GODINHO, H. P.; MIRANDA, M. O. T.; SANTOS, J. E.; GODINHO, A. L. **Pesca e biologia do *Pseudoplatystoma corruscans* no rio São Francisco em Pirapora, MG:** reunião do grupo de avaliação técnica de *Siluriformes* do Brasil. Pirassununga. SP: Centro de Pesquisas e Treinamento em Aqüicultura - CEPTA/IBAMA, 1990. 9p.

JOBLING, M. **Environmental biology of fishes.** Londres: Chapman & Hall, 1996. 455 p.

KVAMME, C.; BOGSTAD, B. The effect of including length structure in yield-per-recruit estimates for northeast Arctic cod. **ICES Journal of Marine Science**, v. 64, n. 2, p. 357-368, Jan. 2007.

LAUDER, G. V.; LIEM, K. F. The evolution and interrelationships of the Actinopterygian fishes. **Bulletin of the Museum of Comparative Zoology**, v. 150, n. 3, p. 95-197, 1983.

LAW, R. Fishing, selection, and phenotypic evolution. **ICES Journal of Marine Science**, New York, v. 57, p. 659-668, 2000.

MARQUES, E. E. **Biologia reprodutiva, alimentação natural e dinâmica da nutrição do pintado *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (*Osteichthyes, Pimelodidae*) no alto rio Paraná.**, 1993. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Paraná.

MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (*Siluriformes, Pimelodidae*). **Revista Brasileira de Zoologia**, Cuiabá, v. 24, p. 87-98, mar. 2007.

MARTINES LÓPEZ, O. R.; BARBOSA, S. B. P.; RIBEIRO, M. N.; CRUZ, G. R. B.; OLIVEIRA, J. C. V. Utilização de dois modelos não-lineares no estudo da curva de crescimento de tourinhos Pampa Chaqueño no Paraguai. **Archivos de Zootecnia**, v. 56, n. 213, p. 5, 2007.

MEDEIROS, N. G. F. **Modelos evolucionários de envelhecimento biológico.** 2001. 119 p. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, SP.

MIRANDA, M. O. T. **Surubim.** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1997. 157 p. (Coleção Meio Ambiente. Série de Estudos: Pesca, 19).

MOSS DE OLIVEIRA, S.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; PENNA, T. J. P.; STAUFFER, D. Simulating the vanishing of northern cod fish. **Physica A**, n. 215, p. 298-304, 1995.

MUNCH, S.B.; WALSH, M.R.; CONOVER, D.O. Harvest selection, Genetic correlations, and evolutionary changes in recruitment: one less thing to worry about. **Canadian Journal Fish Aquatic**, v. 62, p. 802-810, 2005.

OLIVEIRA, A. C. S. **Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro** *Leucopetera coffeela* (Guén-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna. 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OSBORN, A.; BROWN, P. Ban on North Sea Cod fishing. **The Guardian**, Brussels, v. 25, p. 102-111, jan. 2001.

PENNA, T. J. P. A Bit String Model For Biological Aging. **Journal of Statistical Physics**, New York, v. 78, n. 5/6, p. 1629-1633, Mar. 1995.

DE OLIVEIRA, S. Mutation accumulation and the catastrophic senescence of the Pacific salmon. **Journal of Statistical Physics**, New York, v. 52, n. 4, p. 3309-3312, Mar. 1995.

RIJNSDORP, A. D. Fisheries as a large-scale experiment on life-history evolution: disentangling phenotypic and genetic effects in changes in maturation and reproduction of North Sea plaice, *Pleuronectes platessa*. **L. Oecologia**, v. 96, p. 391-401, 1993.

ROWELL, C. A. The effects of fishing on the timing of maturity in North Sea cod *Gadus morhua*. In: _____. **The exploitation of evolving resources**. Berlin: T. K. Stokes, 1993. v. 99, p. 44-61.

SÁ MARTINS, J. S.; RACCO, A. Simulated emergence of cyclic sexual-asexual reproduction. **Physica A**, v. 297, p. 485-494, 2001.

SANTOS, E. **Peixes de água doce: vida e costumes dos peixes do Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1981. 267 p. (Coleção Zoologia Brasília, 2).

SANTORO, K. R.; BARBOSA, S. B. P.; BRASIL, L. H. A.; SANTOS, E. S. Estimativas de Parâmetros de Curvas de Crescimento de Bovinos Zebu, Criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2262-2279, 1999.

SHERER, C. **Métodos computacionais da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 283 p.

SILVA, A. C.; SAMPAIO, S. S.; VIANA, M. S. R. Biologia e pesca do timbiro *Pterengraulis atherinoides*, do açude Pereira de Miranda (Pentecoste, Ce). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Ceará, v. 27, n. 4, p. 513-521, 2005.

SOUZA, A. A. **Simulação da dinâmica populacional do pulgão *Aphis gossypii* (Glover, 1877) e sua interação com o parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880)**. 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOUZA, A. B.; CARVALHO, D.; MELO, D. C.; SEERIG, A. S.; OLIVEIRA, D. A. A.; RIBEIRO, L. P.; TEIXEIRA, E. A.; CREPALD, D. V.; FARIA, P. M. C. A utilização de baixo número de matrizes em piscicultura: perda de recursos genéticos para programas de repovoamento. **Revista Brasileira Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 100-104, jul./dez. 2006.

SPARRE, P.; VENEMA, S. C. **Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais**: manual. Roma: Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura, 1997. Part 1.

STAUFFER, D.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; MOSS DE OLIVEIRA, S; ZORZENON DOS SANTOS, R. M. Monte Carlo simulations of sexual reproduction. **Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications**, Amsterdam, v. 231, n. 4, p. 504-514, Out. 1996.

WILLIAMS, E. H.; SHERTZER, K. W. Effects of fishing on growth traits: a simulation analysis. **Fishery Bulletin**, v. 103, p. 392-403, 2005.

CAPÍTULO 2

SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DA PESCA SELETIVA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO DO SURUBIM

RESUMO

SANTOS, Ricardo Vitor Ribeiro dos. Simulação dos efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento do surubim. In:_____. **Simulação dos efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**. 2008. Cap. 2. p. 24-46. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Foram realizadas simulações computacionais da dinâmica populacional do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae), utilizando-se o modelo Penna (Penna, 1995) na versão assexuada e o modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938). Para isso, foram utilizados dados experimentais estimados por Mateus & Penha (2007) no rio Cuiabá, Pantanal norte, MT. Os resultados indicam que a simulação é capaz de reproduzir características importantes relacionadas à dinâmica populacional deste peixe.

*Orientadora: Solange Gomes Faria Martins – UFLA

ABSTRACT

SANTOS, Ricardo Vitor Ribeiro dos. Simulation of the effects of selective fishing on the growth characteristics of surubim. In: _____. **Simulation of the effects of selective fishing on the growth characteristics of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae)**. 2008. Chap. 2. p. 24-46. (Master Dissertation in Statistics and Agricultural Experimentation). Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Simulations of the populational dynamics of surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae), were performed using the Penna model (Penna, 1995) in the asexual version and the von Bertalanffy model (Bertalanffy, 1938). Therefore, experimental data estimated by Matthew & Penha (2007) were used at Cuiabá river, northern Pantanal, MT. Results indicate that the simulation is capable of providing important characteristics related to populational dynamics of that fish.

*Committee: Solange Gomes Faria Martins – UFLA

1 INTRODUÇÃO

O surubim, *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829), é uma das espécies nativas de maior valor econômico da piscicultura brasileira, tendo seu cultivo se espalhado rapidamente pelas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país. Ocorrendo nas bacias do Paraná, Paraguai e São Francisco, essa espécie é capturada tanto pela pesca profissional quanto pela amadora, devido à alta qualidade de sua carne e ao alto valor de comercialização. Esse interesse tornou-o candidato natural à exploração comercial, visando ao seu cultivo de forma intensiva. Apesar desses fatos, suas populações nativas vêm sendo reduzidas e, em algumas sub-bacias, ele praticamente desapareceu. Uma dessas causas é o efeito da pesca seletiva (Godinho et al., 1990).

Várias pesquisas de laboratório têm sido desenvolvidas na tentativa de compreender a dinâmica populacional desta espécie. Por meio destas pesquisas, verificou-se que a pressão sobre os peixes grandes é um problema, uma vez que os pescadores removem os indivíduos grandes e mais velhos do estoque primitivo, influenciando, assim, o crescimento, a longevidade, a maturidade e a fecundidade (Mateus & Penha, 2007; Carvalho et al., 2006; Crepaldi et al., 2006).

Dada a importância de entender a dinâmica populacional do surubim e de traçar estratégias de pesca, é proposto, neste trabalho, um modelo para a dinâmica populacional deste peixe, usando dados experimentais relatados por Mateus & Penha (2007). Considerando a necessidade de uma estrutura etária, utilizaram-se o modelo Penna (Penna, 1995), em sua versão assexuada e o modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938).

2 METODOLOGIA

Para simular a evolução temporal de uma população de surubim sujeita à pesca seletiva, utilizaram-se o modelo Penna (Penna,1995) e o modelo de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938), pois os indivíduos da população mudam de tamanho à medida que envelhecem. Ao contrário do que ocorre na maioria dos modelos de dinâmica com peixes, em que a mortalidade natural é suposta constante em todos os grupos de idade (ou comprimento) ou, na melhor das hipóteses, diferenciada por grupos, neste trabalho os efeitos da senescência foram naturalmente incluídos com o modelo Penna.

Considerou-se uma população de indivíduos "haplóides", ou seja, reprodução assexuada (100% fêmeas), embora esta espécie se reproduza de forma sexuada. O estudo em questão trata do efeito da pesca seletiva sobre as características do crescimento sem distinção de machos e fêmeas. Os "genótipos" dos indivíduos foram representados por duas palavras computacionais de 32 bits e, portanto, cada indivíduo pode viver, no máximo, até a idade de 63 anos. Segundo o modelo de crescimento de von Bertalanffy, o comprimento L , em função da idade, é expresso da seguinte forma:

$$L(j) = L_{\infty} \times [1 - e^{-K(j-j_0)}] \quad (2.1)$$

sendo $L(j)$ o comprimento em cm , j a idade em anos, L_{∞} o comprimento assintótico em cm , K a taxa de crescimento em ano^{-1} e j_0 a idade teórica em que o comprimento é zero.

Como os parâmetros de crescimento diferem de espécie para espécie e de indivíduo para indivíduo, foi inserido no modelo o traço fenotípico. Além do "genótipo", cada indivíduo da população, ao contrário dos modelos em geral, terá um valor específico para a taxa de crescimento K . Duas palavras computacionais de 32 bits, diferentes daquelas que representam o "genótipo" do indivíduo, denominadas "fenótipo", vão definir o valor

de K . A taxa de crescimento (K) de cada indivíduo é dada por:

$$K = \frac{\theta}{128} \quad (2.2)$$

sendo θ o número de bits 1 no "fenótipo" do indivíduo. Dessa forma, o valor da taxa de crescimento é, no máximo, igual a $0,5 \text{ ano}^{-1}$.

No modelo Penna, quando o indivíduo alcança a idade R , ele certamente torna-se maturo, porém, neste modelo, a maturação vai depender do comprimento do indivíduo. À medida em que ele cresce, torna-se maturo com uma probabilidade dada por:

$$m(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_m(L-L_{50})}} \quad (2.3)$$

sendo $m(L)$ a probabilidade de maturação, β_m o coeficiente de inclinação da curva de maturidade, L o comprimento do indivíduo e L_{50} o comprimento de primeira maturação das gônadas. Cada espécie possui um comprimento L_{50} em que 50% dos indivíduos atingem a maturação das gônadas. Supomos que este comprimento é proporcional à taxa de crescimento do indivíduo e ao comprimento assintótico L_∞ . Dessa forma, o comprimento L_{50} foi calculado pela seguinte expressão:

$$L_{50} = \beta_1 \times K \times L_\infty \quad (2.4)$$

sendo K a taxa de crescimento, L_∞ o comprimento assintótico e β_1 um fator cujo valor foi definido no início da simulação. Discutiremos mais adiante esta suposição.

O número de filhos a cada reprodução vai depender do peso do indivíduo. No caso da espécie surubim,

$$b(P) = 0,89 + 0,19 \times P, \quad (2.5)$$

sendo $b(P)$ a fertilidade e P o peso do indivíduo (Miranda, 1997).

Segundo Mateus & Penha (2007), a relação entre peso e comprimento é dada pela expressão:

$$P(L) = 0,0017 \times L^3 \quad (2.6)$$

sendo $P(L)$ o peso e L o comprimento do indivíduo.

Os filhos, ao nascerem, têm 50% de probabilidade de herdar o "fenótipo" da mãe. Os outros 50% sofrem o efeito de uma mutação em um bit escolhido aleatoriamente. Se o bit escolhido for 0 no "fenótipo" da mãe, ele passará a ser 1 no "fenótipo" do filho, ou vice-versa.

Cada indivíduo poderá morrer pelo acúmulo de mutações deletérias (Limiar T), por restrições ambientais de espaço e alimento ou por pesca seletiva. Cada peixe tem 52% de probabilidade de ser encontrado (Mateus & Penha, 2007) e, daí, capturado com uma probabilidade dada por:

$$s(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_s \times (L - L_s)}} \quad (2.7)$$

sendo $s(L)$ a probabilidade de seleção do indivíduo para pesca, L o comprimento, β_s o coeficiente de inclinação da curva de seletividade e L_s o comprimento a 50% de ser capturado.

O tamanho mínimo de captura é definido como aquele referente ao L_{50} , ou seja, quando se captura um peixe abaixo do comprimento em que 50% dos indivíduos estão aptos à primeira maturação, deve-se soltá-lo para assegurar que ele desove pelo menos uma vez e contribua para a manutenção do estoque pesqueiro. Em virtude disso, para simular a evolução temporal do surubim sujeito à pesca seletiva, assumiu-se que, a cada etapa temporal t , $L_s = \bar{L}_{50}$, sendo \bar{L}_{50} a média calculada sobre todos os indivíduos ma-

turos da população em $t - 1$. A pesca seletiva é inserida em $t = 1.000$ etapas temporais.

Os parâmetros do modelo assumiram, em nossas simulações, os seguintes valores:

- $N_0 = 10.000$ (tamanho inicial da população);
- $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
- $M = 1$ (número de mutações);
- $T = 1$ (limite de mutações deletérias);
- $L_\infty = 149,7\text{cm}$ (comprimento assintótico);
- $j_0 = -0,871$ (idade teórica em que o comprimento é zero);
- $\beta_1 = 5$;
- $\beta_m = 0,5$ (coeficiente de inclinação de maturidade);
- $\beta_s = 0,1$ e $0,5$ (coeficiente de inclinação de seletividade).

O indivíduo que sobrevive à etapa temporal seguinte tem sua idade incrementada de uma unidade e seu comprimento e peso atualizados de acordo com as equações (2.1) e (2.6), respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2.1 são apresentadas as curvas de crescimento baseadas em comprimentos, com e sem pesca seletiva. Observa-se que, com a inclusão da pesca seletiva, a espécie apresenta uma curva de crescimento menos acentuada, ou seja, o peixe se aproxima do comprimento assintótico (L_∞) de forma mais lenta, devido a uma taxa de crescimento médio (\bar{K}) mais baixa em relação à situação sem pesca. Este efeito da pesca seletiva sobre as curvas de crescimento se acentua à medida que o coeficiente de seletividade β_s aumenta.

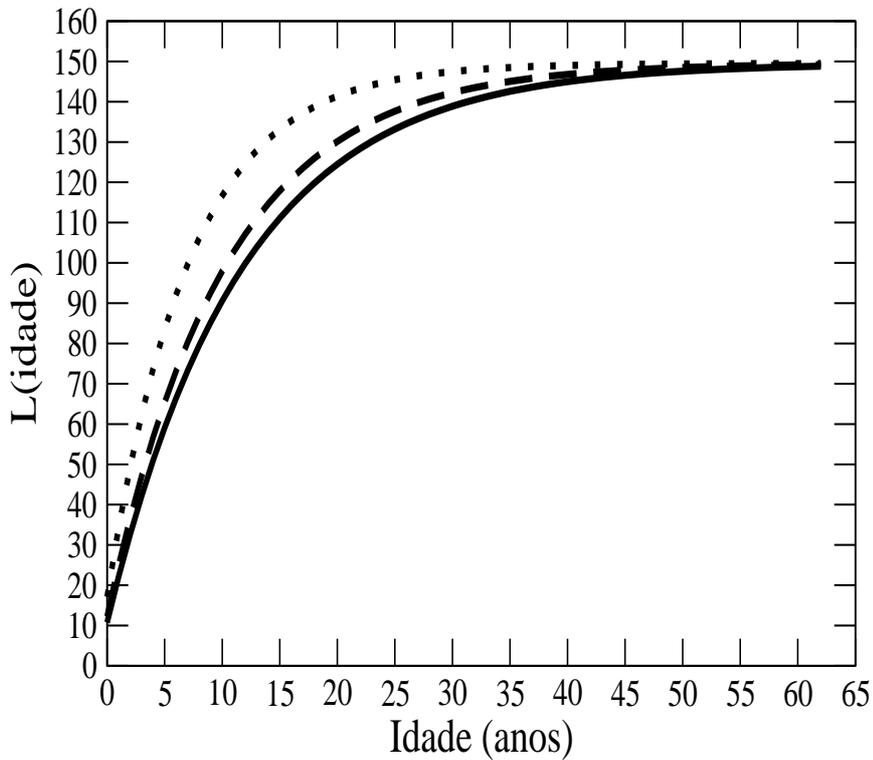


FIGURA 2.1: Comprimento em função da idade do surubim (*P. corruscans*). População sem pesca (curva pontilhada). População com pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, curva tracejada) e ($\beta_m = \beta_s = 0,5$, curva contínua).

Na Tabela 2.1 são apresentados os valores das taxas de crescimento médio (\bar{K}) para o surubim (*P. corruscans*) encontrados na literatura e obtidos na simulação. Observa-se que os valores obtidos nas simulações estão mais próximos dos obtidos por Mateus & Penha (2007) e Silva (1986). Como, neste trabalho, foi considerada a reprodução assexuada, é importante salientar que os valores de \bar{K} independem, neste caso, do sexo. Nas literaturas mencionadas, nem sempre é informado se a taxa de crescimento médio foi obtida de machos e/ou fêmeas. Segundo Crepaldi et al. (2006), a taxa de crescimento dentro de uma mesma espécie pode ser variável, sobretudo para espécies migratórias, como é o caso do surubim. Além disso, a taxa de crescimento médio sofre dependência de vários outros fatores, tais como disponibilidade de alimentos e temperatura da água, não incluídos na simulação.

Na Figura 2.2 são apresentadas as curvas de crescimento baseadas em pesos, com e sem pesca seletiva. O peso, uma das principais medidas utilizadas para os estudos de biologia pesqueira, envolve tanto a taxa de crescimento quanto o comprimento. Na Figura 2.2, é nítida a diferença entre os pesos a cada idade para populações sem pesca e sujeitas à pesca seletiva. Como o peso depende do comprimento do peixe a cada idade (Eq. 2.6), que varia de acordo com a taxa de crescimento, a pesca seletiva intensa ($\beta_s = 0,5$) afeta potencialmente o peso em função da idade. Além disso, observa-se que a pesca afeta intensamente a longevidade dos indivíduos da população.

As curvas de seletividade para a pesca são apresentadas na Figura 2.3. Realizando uma pressão de pesca intensa ($\beta_s = 0,5$), os peixes maiores e mais velhos são capturados, restando no estoque os peixes menores, os quais vão dar origem a descendentes menores. Em $t = 100.000$, o comprimento a 50% de seletividade (Figura 2.3) é de $L_s = 70,74cm$ e $L_s = 58,87cm$, para $\beta_s = 0,1$ e $\beta_s = 0,5$.

Na ausência de pesca, a distribuição de frequência de θ , que determina o traço fenotípico, é uma distribuição gaussiana centrada em 18 (Figura 2.4). Observamos que a

TABELA 2.1: Idade média de maturação (\bar{I}_m), comprimento médio de maturação (\bar{L}_{50}) e taxa de crescimento médio (\bar{K}) do estoque de surubim (*P. corruscans*) para uma população sem pesca e sujeita à pesca seletiva para diferentes β_s , por meio de simulação.

	β_s	\bar{I}_m	\bar{L}_{50}	\bar{K}
sem pesca	-	7,69 anos	100,23 cm	0,138 ano ⁻¹
com pesca	0,5	5,71 anos	58,87 cm	0,085 ano ⁻¹
com pesca	0,1	6,17 anos	70,74 cm	0,099 ano ⁻¹
Mateus & Penha (2007)	-	4,60 anos	75,00 cm	0,127 ano ⁻¹
Resende et al. (1995)	-	-	61,5 cm	0,215 ano ⁻¹
Silva (1986)	-	-	83,5 cm	0,085 ano ⁻¹

população se auto-organiza no espaço dos fenótipos, de modo a aumentar o valor adaptativo da população. Com o termo auto-organização descreve-se a propriedade de sistemas que, deixados sozinhos, no lugar de aumentar o próprio estado de desordem e desorganização, autonomamente aumentam a própria estrutura. A introdução de pesca seletiva causa deslocamentos na distribuição, centrando-se em 13 e 11 para $\beta_s = 0, 1$ e $\beta_s = 0, 5$, respectivamente. A mudança das características fenotípicas pode ser entendida aqui como fruto da seleção diferencial gerada pela pesca seletiva.

Na Figura 2.5, foram plotadas as curvas de maturação em função do comprimento do surubim (*P. corruscans*) em $t = 100.000$ etapas temporais. Se não houver pesca, $\bar{L}_{50} = 100, 23cm$. No entanto, com pesca seletiva intensa ($\beta_s = 0, 5$), os peixes apresentam comprimento bem inferior, $\bar{L}_{50} = 58, 87cm$. Contudo, aliviando a probabilidade de seleção sobre os peixes maiores ($\beta_s = 0, 1$), o comprimento, a 50% de maturar, aumenta para $\bar{L}_{50} = 70, 74cm$. Observa-se que as curvas de maturação deslocam-se em função dos diferentes valores de \bar{L}_{50} . Isto pode ser associado à seletividade dos aparelhos de captura. Com $\beta_s = 0, 5$, os indivíduos maiores são capturados pelas redes de arrasto com maior probabilidade, enquanto que, para $\beta_s = 0, 1$, alguns indivíduos

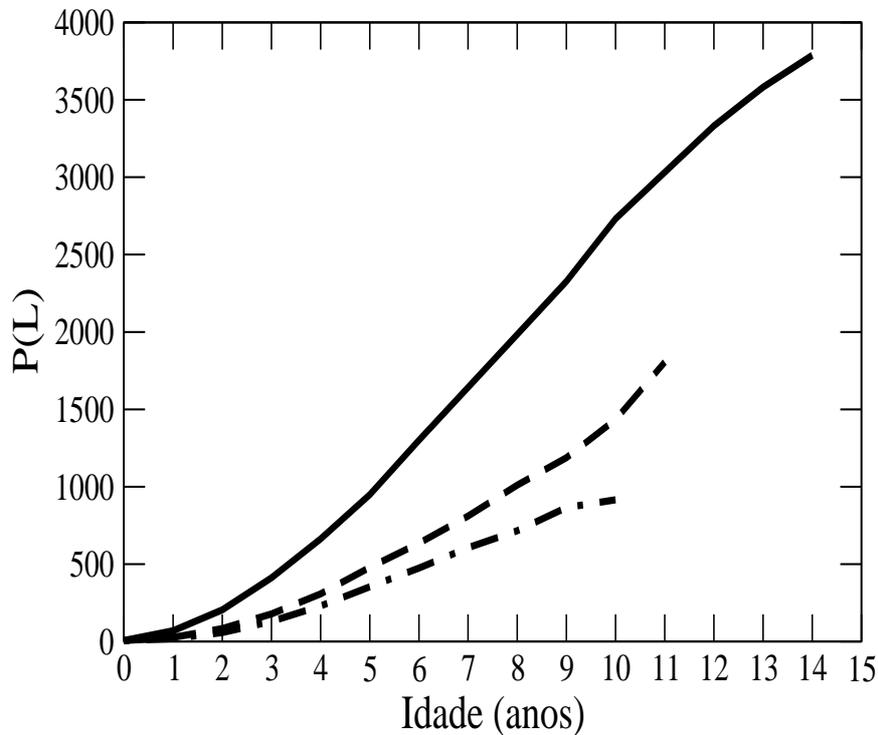


FIGURA 2.2: Peso em função da idade do surubim (*P. corruscans*). Sem pesca (linha contínua). Pesca seletiva com $\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$ (linha tracejada) e para $\beta_m = \beta_s = 0,5$ (linha com ponto e traço).

maiores podem escapar entre as malhas, beneficiando, assim, o fenótipo da futura prole.

Na Tabela 2.1 são comparados os valores de \bar{L}_{50} para o surubim (*P. corruscans*) encontrados na literatura com os obtidos nas simulações. Segundo Mateus & Penha (2007), parte das diferenças encontradas entre os valores experimentais é devido às variações genéticas e ao reflexo dos efeitos ambientais. Além disso, é preciso ter cautela na comparação destas estimativas, pois os diversos autores utilizam métodos distintos (anéis em vertebrados, anéis em espinhos e distribuição de frequência) para transformar idade em comprimento (Mateus & Penha, 2007). Os resultados simulados estão mais próximos dos obtidos por Resende et al. (1995) e Mateus & Penha (2007).

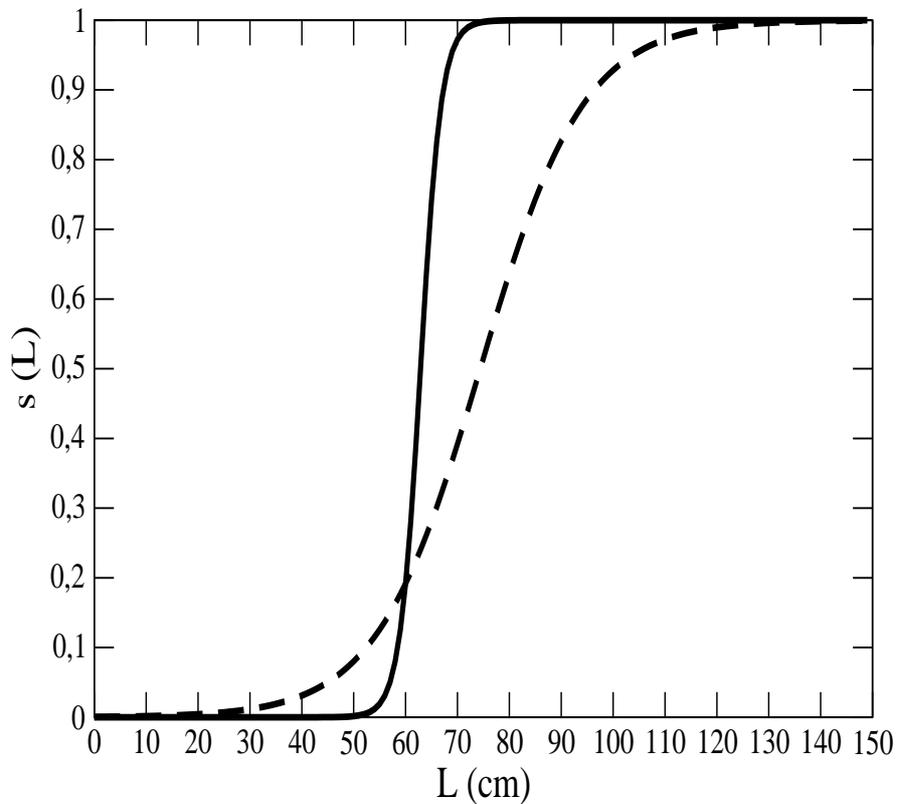


FIGURA 2.3: Curvas de seletividade em função do comprimento L para o surubim (*P. corruscans*) obtidas por meio de simulações (curva contínua, $\beta_s = 0,5$) e (curva tracejada, $\beta_s = 0,1$).

O valor experimental estimado por Mateus & Penha (2007) para a idade média de primeira maturação do surubim (*P. corruscans*) na bacia do rio Cuiabá (MT) foi de 4,6 anos. Além disso, explicam que a mesma espécie pode ter valores diferentes em diferentes partes de sua distribuição, dependendo das condições ambientais. Em nossas simulações, a idade média de maturação (\bar{I}_m) em $t = 100.000$ etapas temporais foi de 5,71 anos, com $\beta_s = 0,5$. Na Figura 2.7, nestas condições, verifica-se que existem indivíduos maturando a partir da idade de 4,0 anos. Na ausência de pesca (Figura 2.7), nota-se que, embora a maioria dos peixes esteja maturando com idade de 8,0 anos, alguns

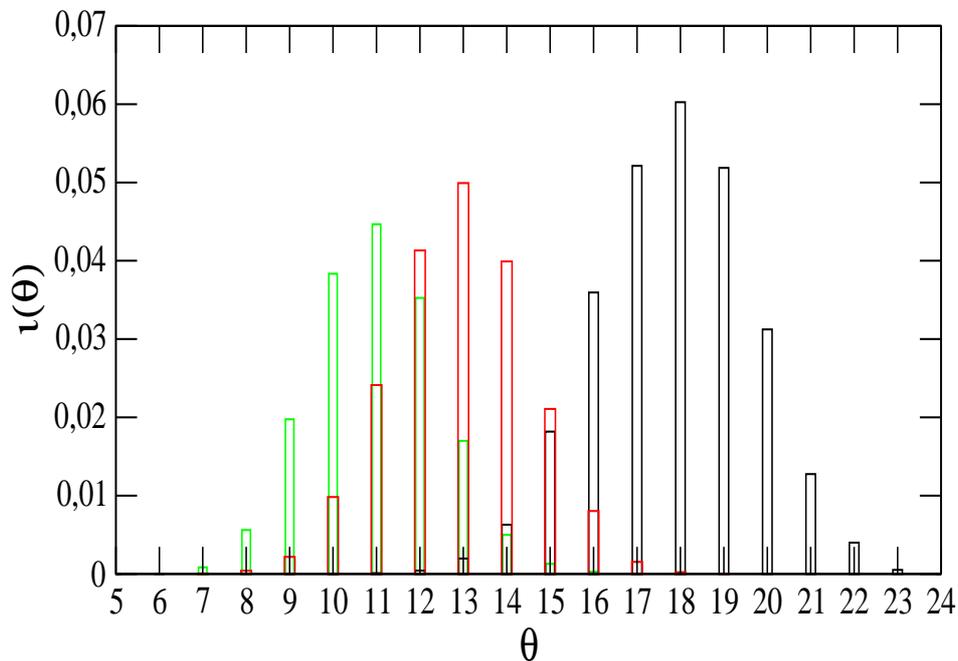


FIGURA 2.4: Distribuição de freqüência do número de bits 1 (θ) no fenótipo. Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5, \beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.

maturam com idade de 11,0 anos. Portanto, a pesca seletiva induz os peixes a maturarem precocemente, o que, segundo Mateus & Penha (2007), pode ser uma estratégia dos peixes para recolonizar o hábitat bastante explorado com a pesca excessiva.

Na Figura 2.6 é apresentada a evolução temporal do tamanho da população sem pesca e com pesca seletiva. Sem pesca, ou seja, sem pressão de exploração, a população atinge o tamanho médio de 34379,5 indivíduos. A pesca seletiva, ao remover os peixes maiores e mais velhos, inadvertidamente captura os peixes do estoque que são geneticamente predispostos ao crescimento rápido e à maturação tardia, restando no estoque aqueles indivíduos de crescimento lento e maturação precoce. Em consequência, a fêmea terá sua fecundidade diminuída, ou seja, vai gerar menos descendentes, ocasionando

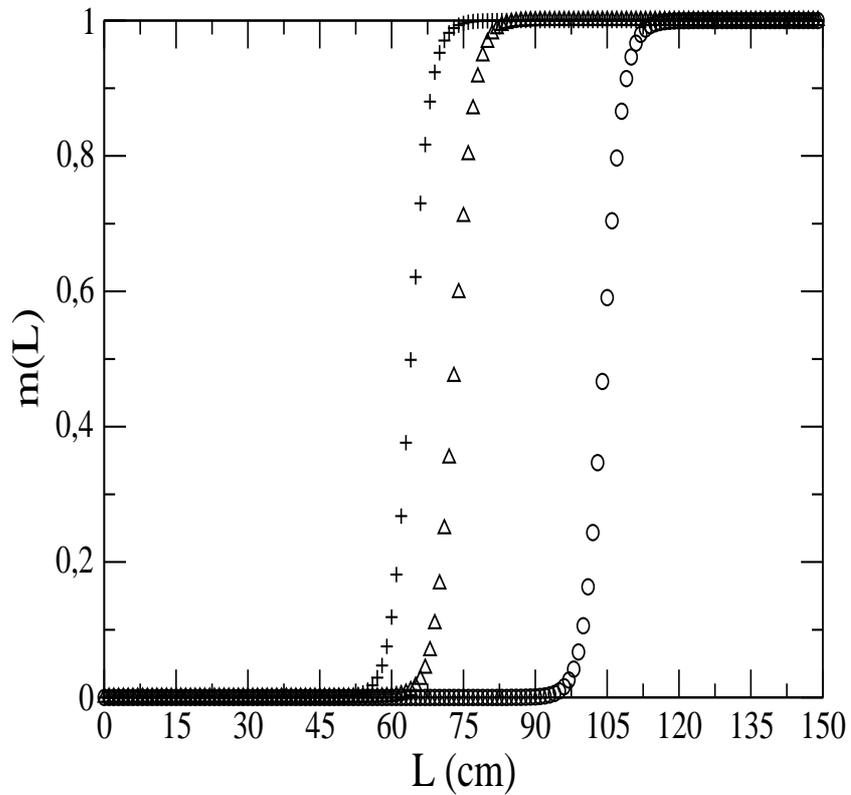


FIGURA 2.5: Curvas de maturação do surubim (*P. corruscans*) em função do comprimento. População sem pesca (círculo). População com pesca seletiva variando o coeficiente de seletividade: ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, triângulo) e ($\beta_m = \beta_s = 0,5$, cruz).

uma diminuição no tamanho da população, cujo tamanho médio é de 24741,4 e 23465,5, para $\beta_s = 0,1$ e $\beta_s = 0,5$, respectivamente (Figura 2.6).

Na Figura 2.8 são apresentadas as curvas de sobrevivência do surubim, obtidas para as simulações sem pesca e com pesca seletiva. Como já observado anteriormente, a longevidade da população se reduz com a pesca. Embora isso ocorra, observa-se que a sobrevivência de indivíduos mais jovens aumenta em relação à situação sem pesca seletiva. Isso porque a pesca seletiva diminui a sobrevivência dos indivíduos mais velhos

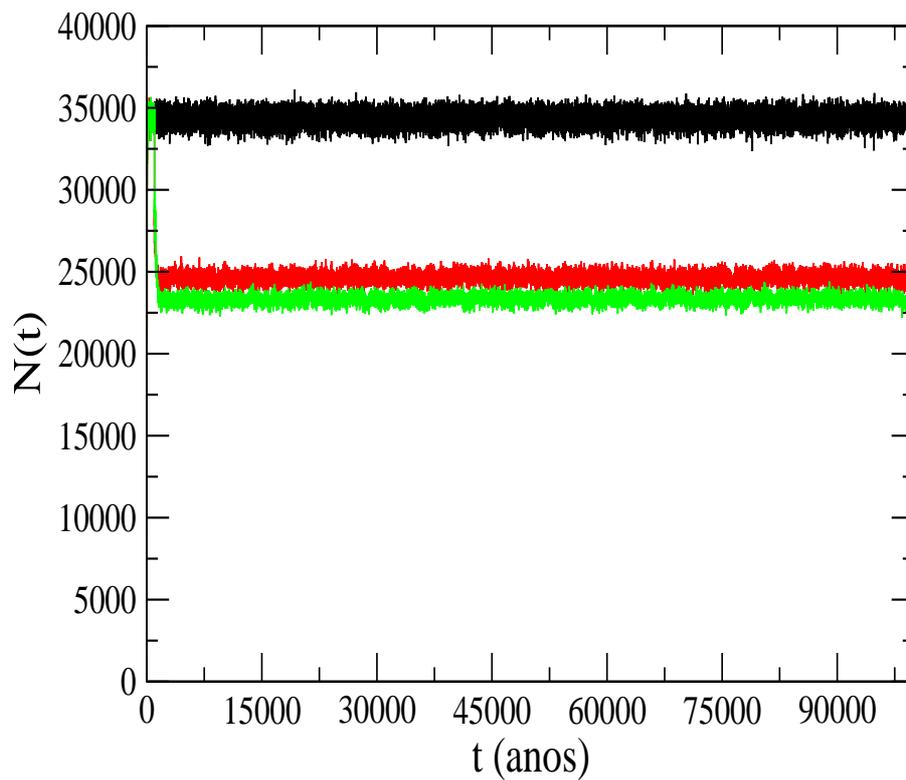


FIGURA 2.6: Evolução temporal do tamanho da população de surubim (*P. corruscans*) obtida por meio de simulações durante 100.000 etapas temporais (anos). Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.

e favorece aqueles que apresentam maturação precoce, ou seja, investem mais recursos na reprodução e, daí, apresentam longevidade menor.

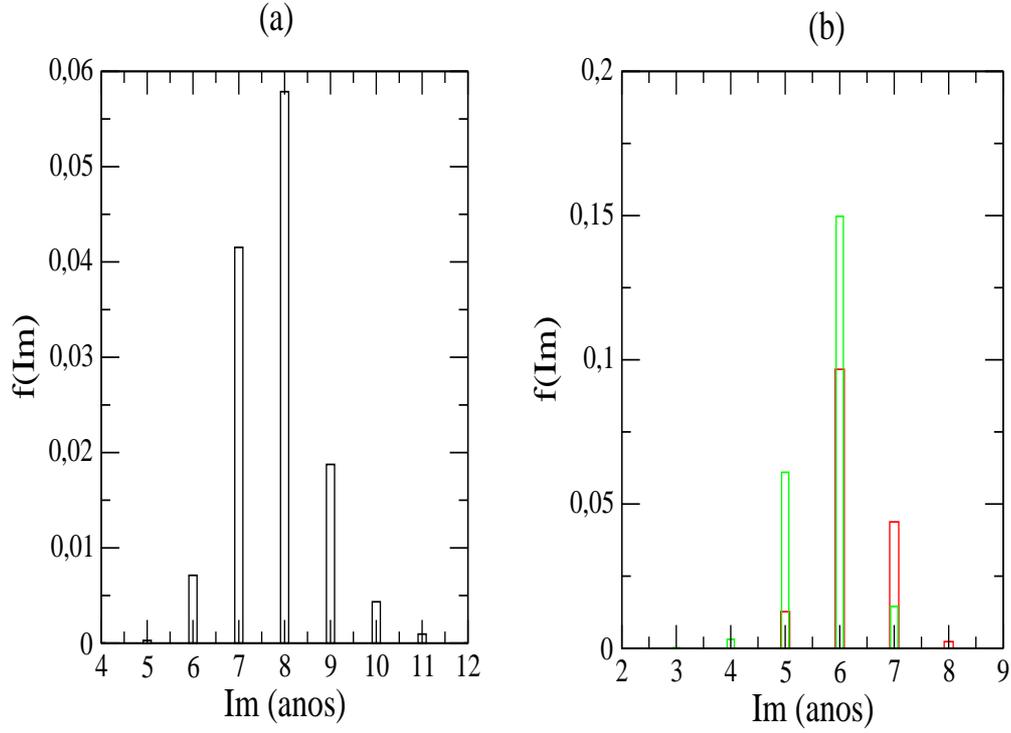


FIGURA 2.7: Distribuição de frequência da idade de maturação do surubim (*P. corruscans*). (a) Sem pesca. (b) Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$) e verde ($\beta_m = \beta_s = 0,5$), com pesca seletiva.

Nas simulações, supomos que $L_{50} = \beta_1 \times \bar{K} \times L_\infty$. Segundo He & Stewart (2001), a razão $\frac{L_{50}}{\bar{K}L_\infty}$ é uma função linear de I_m , a idade na qual 50% dos indivíduos se tornam maduros, ou seja,

$$\frac{L_{50}}{\bar{K}L_\infty} = f(\bar{I}_m) = a + b\bar{I}_m \quad (2.8)$$

Portanto, os valores β_1 correspondem a valores funcionais de $f(\bar{I}_m)$. Além disso, He & Stewart (2001) mostram em seu trabalho que, para uma dada série de constantes a e b , o peixe deve aumentar a razão L_{50}/L_∞ de duas maneiras possíveis. Uma delas é tendo um \bar{K} grande e a outra é tendo um \bar{I}_m grande, ou seja, retardando a idade de maturação. Como \bar{K} e \bar{I}_m estão negativamente relacionados, então, estas duas maneiras

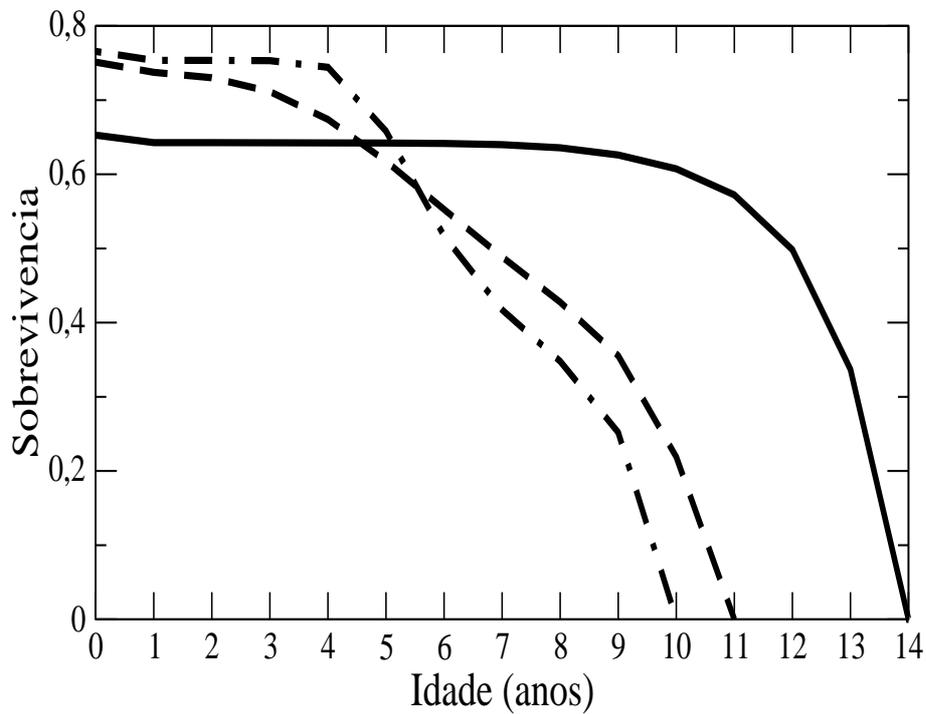


FIGURA 2.8: Curvas de sobrevivência do surubim (*P. corruscans*). Sem pesca (curva contínua). Sujeita à pesca seletiva: curva tracejada, $\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$ e curva com traço e ponto, $\beta_m = \beta_s = 0,5$.

representam estratégias diferentes.

Na Tabela 2.2 apresentamos os resultados de algumas simulações com $\beta_s = 0,1$ e diferentes valores para β_1 . Todos os outros parâmetros mantiveram os valores das simulações anteriores. Verificamos que, para $\beta_1 = 3,8$, os valores de \bar{K} , \bar{L}_{50} e \bar{I}_m , obtidos na simulação com pesca, mais se aproximam dos valores experimentais obtidos por Mateus & Penha (2007). Os gráficos correspondentes a esta simulação são apresentados na Figura 2.9.

Por meio da Figura 2.10, observa-se que existe uma relação não linear entre \bar{K} e \bar{I}_m . Diferentes valores de β_1 definem estratégias diferentes, no sentido de aumentar (diminuir) ou diminuir (aumentar) \bar{K} (\bar{I}_m). Além disso, observa-se uma relação linear

TABELA 2.2: Fator de ajuste (β_1), taxa de crescimento médio (\bar{K}), idade média de maturação (\bar{I}_m) e comprimento médio de maturação (\bar{L}_{50}) do surubim (*P. corruscans*) para uma população sem pesca e uma sujeita à pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$), por meio de simulação.

β_1	Sem pesca			Com pesca seletiva		
	\bar{K}	\bar{I}_m	\bar{L}_{50}	\bar{K}	\bar{I}_m	\bar{L}_{50}
1,0	0,3924	1,0000	77,2225	0,3919	1,0000	76,9737
1,5	0,3763	1,9380	96,4600	0,2918	1,3824	69,2127
2,0	0,2975	2,4964	91,3979	0,2422	2,0698	74,5078
2,5	0,2383	3,2235	91,4647	0,2151	3,0064	82,9439
3,0	0,2128	4,1915	96,2830	0,1717	3,6289	76,8343
3,5	0,1923	5,2351	101,4132	0,1435	4,1845	74,3357
3,8	0,1769	5,6762	99,8387	0,1358	4,6744	75,6251
4,0	0,1683	6,0343	100,0595	0,1291	4,9405	75,1757
4,5	0,1529	6,9411	101,5743	0,1118	5,5048	71,4938
5,0	0,1378	7,6904	100,2295	0,0999	6,1704	70,7435

entre $\beta_1 = \frac{\bar{L}_{50}}{\bar{K}\bar{L}_\infty}$ e \bar{I}_m , como verificado por He & Stewart (2001) para diferentes espécies de peixes.

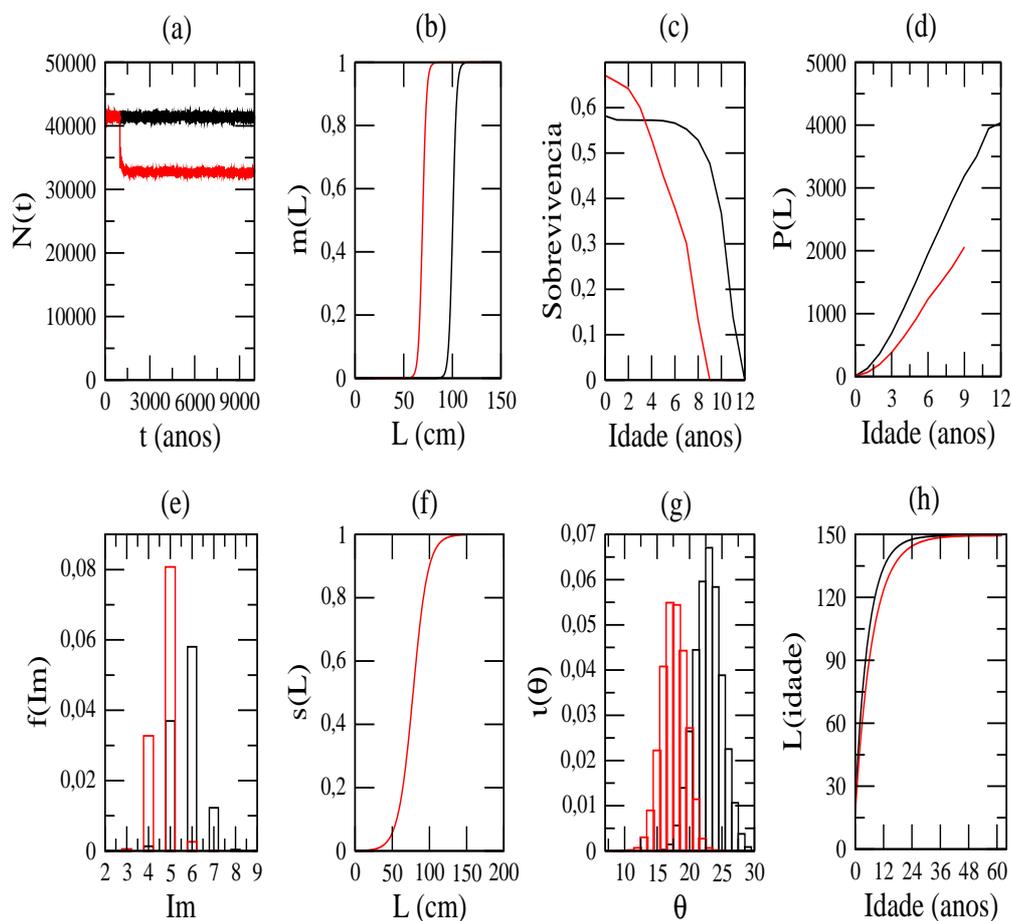


FIGURA 2.9: (a) Evolução temporal do tamanho da população. (b) Curvas de maturação. (c) Curvas de sobrevivência. (d) Peso em função da idade. (e) Distribuição de freqüência de idade de maturação. (f) Curva de seletividade. (g) Distribuição de freqüência do número de bits 1. (h) Comprimento em função da idade. Em preto, sem pesca. Em vermelho ($\beta_m = 0,5$, $\beta_s = 0,1$), com pesca seletiva.

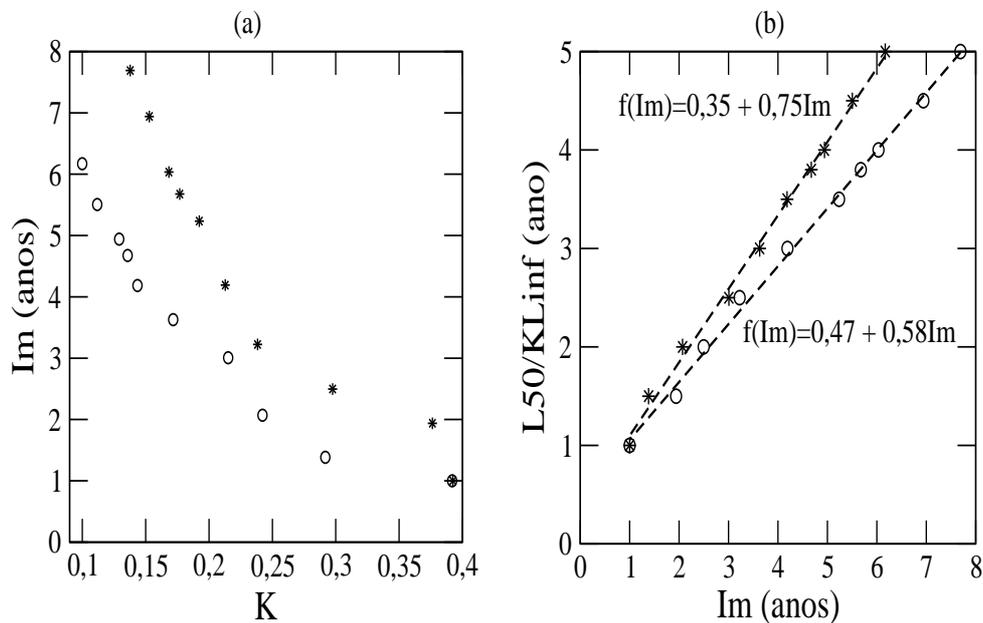


FIGURA 2.10: (a) Taxa de crescimento médio (\bar{K}) vs. idade média de maturação (\bar{I}_m). (b) Relação linear entre $(\frac{L_{50}}{KLin})$ e a idade média de maturação (\bar{I}_m). População sem pesca (asterisco). População com pesca seletiva ($\beta_m = 0,5$ e $\beta_s = 0,1$, círculo).

4 CONCLUSÃO

Este modelo, ao contrário da maioria dos modelos para a dinâmica de peixes, trata de maneira satisfatória os efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento, do ponto de vista evolucionário. Além disso, reproduz com eficiência parâmetros biológicos do surubim.

O modelo proposto, dadas as suas características, é uma ferramenta útil para se estudar diferentes estratégias de pesca para o surubim e, daí, dar suporte para o estabelecimento de novas práticas pesqueiras que sejam mais sustentáveis.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTALANFFY, L. V. A quantitative theory of organic growth. **Human Biological**, v. 10, n. 2, p. 181-213, 1938.

CARVALHO, D. C.; SOUSA, A. B.; MELO, D. C.; SEERIG, A. S.; OLIVEIRA, D. A. A.; RIBEIRO, L. P.; TEIXEIRA, E. A.; CREPALDI, D. V.; FARIA, P. M. C. A utilização de baixo número de matrizes em piscicultura: perda de recursos genéticos para programas de repovoamento. **Revista Brasileira de Reprodução de Animais**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 100-104, jul./dez. 2006.

CREPALDI, D. V.; CARVALHO, D. C.; SOUSA, A. B.; MELO, D. C.; SEERIG, A. S.; OLIVEIRA, D. A. A.; RIBEIRO, L. P.; TEIXEIRA, E. A.; LOPES, V. E.; DRUMOND, M. L.; MORAES, V. E.; FARIA, P. M. C. Biologia reprodutiva do surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*). **Revista Brasileira de Reprodução de Animais**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 159-167, jul./dez. 2006.

GODINHO, H. P.; MIRANDA, M. O. T.; SANTOS, J. E.; GODINHO, A. L. Pesca e biologia do *Pseudoplatystoma corruscans* no rio São Francisco em Pirapora.MG. **Reunião do grupo de avaliação técnica de Siluriformes do Brasil**, Pirassununga. SP: Centro de Pesquisas e Treinamento em Aqüicultura - CEPTA/IBAMA, 1990. 9p.

HE, J. X.; STEWART, D. J. Age and size at first reproduction of fishes: predictive models based only on growth trajectories. **Ecology**, New York, v. 82, n. 3, p. 784-791, Mar. 2001.

MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (*Siluriformes*, 47 *Pimelodidae*). **Revista Brasileira de Zoologia**, Cuiabá, v. 24, p. 87-98, mar. 2007.

MIRANDA, M. O. T. **Surubim**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1997. 157 p. (Coleção Meio Ambiente: Série de Estudos: Pesca, 19).

PENNA, T. J. P. A Bit String Model For Biological Aging. **Journal of Statistical Physics**, New York, v. 78, n. 5/6, p. 1629-1633, Mar. 1995.

RESENDE, E. K.; CATELLA, A. C.; NASCIMENTO, F. L.; PALMEIRA, S. S.; CANDIDO, R. A.; ALMEIDA, V. L. L. **Biologia do curimatá (*Prochilodus lineatus*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*) na bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: EMBRAPA/CPAP 1995. 75 p. (Boletim de Pesquisa, 2).

SILVA, M. V. **Mitos e verdades sobre a pesca no Pantanal sul mato-grossense**. Campo Grande: FIPLAN, 1986. 146 p.