



**MARCELO CARLOS RIBEIRO**

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO ESFORÇO DE PESCA E  
TAXAS DE MUTAÇÃO SOBRE A DINÂMICA  
TEMPORAL DO PINTADO**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**MARCELO CARLOS RIBEIRO**

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO ESFORÇO DE PESCA E TAXAS DE  
MUTAÇÃO SOBRE A DINÂMICA TEMPORAL DO PINTADO**

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

Orientadora

Dra. Solange Gomes Faria Martins

Coorientador

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

**LAVRAS - MG**

**2012**

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

Ribeiro, Marcelo Carlos.

Efeitos da variação do esforço de pesca e taxas de mutação sobre a dinâmica temporal do pintado / Marcelo Carlos Ribeiro. – Lavras : UFLA, 2012.

61 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Solange Gomes Faria Martins .

Bibliografia.

1. Dinâmica de populações. 2. Modelos computacionais. 3. Pesca. 4. Modelo Penna. 5. *Pseudoplatystoma corruscans* I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD - 519.282

**MARCELO CARLOS RIBEIRO**

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO ESFORÇO DE PESCA E TAXAS DE  
MUTAÇÃO SOBRE A DINÂMICA TEMPORAL DO PINTADO**

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

APROVADA em 22 de junho de 2012.

Dra. Thelma Sáfadi

UFLA

Dra. Maria do Carmo P. de Toledo Costa

UFLA

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

UFLA

Dra. Solange Gomes Faria Martins  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2012**

A meus pais, Rubinaldo Ribeiro e Josefa Maria;  
a meus avós, Maria Cândido e José Ribeiro (*in memoriam*);

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a vida e permitir chegar a esta vitória.

Aos meus pais, pelo apoio, estímulo e compreensão demonstrados ao longo da minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, que me proporcionou cursar o mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão de bolsa de estudos.

À minha orientadora, professora Solange Gomes F. Martins, por além de fazer *jus* ao nome de sua função, teve por mim, respeito, confiança e compreensão.

Aos professores: Dr. Paulo Pompeu dos Santos, Dra. Thelma Sáfy e Dra. Maria do Carmo, pelos esclarecimentos e boa vontade.

Aos demais professores do Departamento de Ciências Exatas (DEX).

A todos os funcionários do DEX, em especial à "Josinha", "Josona", Edila e Selminha.

Aos meus amigos e amigas: Abigail Emília, Adriele, Adriana, André, Carolina, Carlão, Danielle, Danilo (Preto), Dennys, Diana, Diogo, Elayne, Enio, Giullia, Iábita, Jair, Juliano, Juracy, Juscélia, Larissa, Leandro, Lourenço, Luciana, Manoel, Mariele, Michelle, Micherlania, Tábata e Tiago, por todo o apoio e torcida!.

A todas as pessoas que, de alguma forma, participaram na realização deste sonho.

## RESUMO

Dado a importância da atividade pesqueira nos lugares onde ocorre, vários estudos têm demonstrado que a pesca seletiva pode explicar as possíveis alterações em algumas características dos peixes. Este trabalho se propõe a estudar os efeitos da variação do esforço de pesca e taxa de mutação sobre a dinâmica temporal do pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. Neste sentido, realizaram-se simulações computacionais, utilizando-se o modelo Penna (Penna, 1995) de envelhecimento biológico, com adaptações de acordo com as características biológicas desse peixe, e o modelo de crescimento de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938). 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 pesca.

Palavras-chave: Dinâmica de populações. Modelos computacionais. Pesca. Modelo Penna. *Pseudoplatystoma corruscans*.

## ABSTRACT

Given the importance of the fishing activity in places where it occurs, several studies have shown that selective fishing can explain the possible changes in some characteristics of the fish. This work proposes to study the effects of variation in fishing effort and mutation rate on the temporal dynamics of pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. In this sense, we carried out computer simulations, using the Penna model (Penna, 1995) of biological aging, with adjustments according to the biological characteristics of this fish, and the growth model of von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938). The results indicate that simulation can be an appropriate tool for understanding the population dynamics of this species and the establishment of strategies for regulating fishing.

Keywords: Population dynamics. Computational models. Fishing. Model Penna. *Pseudoplatystoma corruscans*.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Operações binárias AND, OR e XOR. A primeira coluna representa os valores possíveis de dois bits e nas demais colunas após a respectiva operação lógica. . . . .	17
Tabela 2	Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de pintado ( <i>P. corruscans</i> ) no Cuiabá, MT (MATEUS; PENHA, 2007).	26
Tabela 3	Valor médio de algumas características fenotípicas e populacionais do pintado na ausência de taxa de mutação para o fenótipo. .	41
Tabela 4	Estatística da distribuição de frequência de $K$ para três diferentes taxas de mutação. . . . .	43
Tabela 5	Comportamento de algumas características fenotípicas e populacionais. . . . .	44

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	10
2	OBJETIVOS . . . . .	13
2.1	Objetivo geral . . . . .	13
2.2	Objetivos específicos . . . . .	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	14
3.1	Efeitos da pesca seletiva . . . . .	14
3.2	Modelo Penna . . . . .	16
3.3	Modelo de crescimento von Bertalanffy . . . . .	21
3.4	Aspectos relativos à pesca e biologia do Pintado . . . . .	24
4	METODOLOGIA . . . . .	28
4.1	Modelo Penna adaptado à biologia e legislação de pesca do <i>P. corruscans</i> . . . . .	28
4.2	Legislação vigente . . . . .	32
4.3	Simulações . . . . .	32
4.4	Variáveis a serem medidas nas simulações . . . . .	34
4.4.1	Curvas de sobrevivência . . . . .	34
4.4.2	Tamanho populacional . . . . .	35
4.4.3	Biomassa . . . . .	35
4.4.4	Captura em peso . . . . .	35
4.4.5	Comprimento médio de maturação ( $\bar{L}_m$ ) . . . . .	36
4.4.6	Taxa de crescimento médio ( $K$ ) . . . . .	36
4.4.7	Resumo da dinâmica do modelo Penna adaptado à biologia e legislação de pesca do pintado . . . . .	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	39
5.1	Dinâmica temporal sem pesca . . . . .	39
5.1.1	Na ausência de taxa de mutação para o fenótipo ( $\omega = 0.0$ ) . . . . .	39
5.1.2	Considerando diferentes taxas de mutação para o fenótipo . . . . .	41
5.2	Dinâmica temporal com pesca sob diferentes esforços de pesca . . . . .	47
5.2.1	Na ausência de taxa de mutação para o fenótipo ( $\omega = 0.$ ) . . . . .	47
5.2.2	Considerando diferentes taxas de mutação para o fenótipo . . . . .	51
6	CONCLUSÃO . . . . .	56
	REFERÊNCIAS . . . . .	57

## 1 INTRODUÇÃO

A pesca é uma atividade de importância econômica em diferentes regiões do mundo, inclusive no Brasil, e o declínio dos estoques pesqueiros é um problema global. Dentre as diferentes causas para este declínio, podemos citar fatores ambientais tais como: a poluição da água, a construção e operação de usinas hidrelétricas, assim como outras atividades humanas que geram impactos ambientais. Políticas de manejo pesqueiro inadequadas, certamente vêm contribuindo para este declínio.

O tamanho e a idade de primeira maturação são características fundamentais no contexto da exploração pesqueira, pois afetam o potencial reprodutivo das populações e, conseqüentemente a produção dos estoques. No final do século XIX, foram iniciados no Mar Norte, estudos referentes aos recursos pesqueiros, utilizando os peixes arenque, bacalhau e linguado, principais espécies consumidas por europeus naquela época. Nesses estudos, já eram abordados aspectos como migrações e idade de maturação (CASTELLO, 2007).

Vários pesquisadores vêm comprovando que após algumas gerações, o efeito negativo do manejo de pesca inadequada, em diversas regiões do mundo, são numerosos, tais como: alterações morfológicas em populações de peixes e a redução nas densidades populacionais. Acreditava-se que a pesca seletiva dos maiores peixes era uma forma de estimular a reprodução e o crescimento dos peixes menores, porém, constatou-se que tal pressão sobre os peixes grandes e mais velhos causa uma redução na taxa de crescimento médio, tamanho e idade de maturação de algumas espécies (MATEUS; PENHA, 2007; CONOVER; MUNCH, 2002).

Existem fortes evidências experimentais de que as variações fenotípicas observadas em diversas populações exploradas não são explicadas unicamente por

fatores ambientais. Em relação à exploração pesqueira, diversos pesquisadores defendem a ideia de que tais variações fenotípicas são consequência da evolução induzida pela pesca. Desta forma, políticas de manejo sustentável não devem ignorar as consequências Darwinianas da pesca seletiva.

Santos (2010) propôs um modelo para pesca seletiva que leva em conta os efeitos evolutivos sobre a espécie explorada. O modelo proposto foi capaz de reproduzir eficientemente aspectos relativos à biologia do *Pseudoplatystoma corruscans*, vulgarmente conhecido como Surubim no estado de Minas Gerais, e como Pintado em outras regiões do Brasil, sob ação da pesca seletiva. Segundo os resultados obtidos, a pesca seletiva explica as possíveis alterações na taxa de crescimento médio, idade e comprimento de maturação desta espécie. O *P. corruscans* é considerado um dos mais nobres peixes brasileiros de águas continentais e, por esta razão, uma das espécies mais prejudicadas no Brasil com a pesca seletiva. Além da pesca seletiva, outros fatores, tais como, construção de hidroelétricas, poluição dos rios e assoreamento provocado por desmatamento de matas ciliares, são responsáveis por mudanças relevantes na estrutura e composição de suas populações, gerando conseqüentemente a redução dos estoques naturais dessa espécie (BEHR, HAYASHI, 1997; AGOSTINHO, THOMAS, 1991; TOLEDO, 1991).

Quando se leva em conta a evolução Darwiniana, as mutações sofridas pelas espécies, ao longo de diversas gerações sucessivas, desempenham papel fundamental. Diferentes taxas de mutação, assim como a intensidade da pressão seletiva, gerada pela pesca, devem influenciar nas características fenotípicas (taxa de crescimento da população, comprimento de maturação, idade de maturação) e populacionais (conservação do estoque, biomassa e captura) da espécie explorada.

Dando continuidade ao trabalho desenvolvido em Santos (2010), onde foram considerados fixas duas probabilidades, a de ocorrência de mutação para o

fenótipo ( $\omega = 0,5$ ) e a do peixe ser encontrado ( $\gamma = 0,52$ ), este trabalho consiste no estudo da dinâmica populacional do pintado, analisando os efeitos da variação na probabilidade de mutação para o fenótipo ( $\omega$ ) e a do peixe ser encontrado ( $\gamma$ ), isoladamente e conjuntamente, tendo como instrumento para esta análise o modelo Penna com adaptações à biologia e legislação de pesca do pintado proposto por Santos (2010).

Este trabalho está organizado em cinco seções, incluindo esta introdução. Na segunda seção, é apresentado o referencial teórico, no qual são abordados conceitos sobre os efeitos de pesca seletiva, modelo Penna, modelo de crescimento von Bertalanffy e aspectos relativos à pesca e biologia do pintado.

A terceira seção consiste em metodologia, onde são descritas as adaptações à biologia e legislação de pesca do pintado, é informado a legislação de pesca vigente, como foram feitas as simulações e as variáveis a serem medidas e por fim o resumo da dinâmica do modelo penna com adaptações à biologia e legislação de pesca do pintado. Na quarta seção, os resultados e discussões são apresentados, e na quinta seção, temos as conclusões referentes ao estudo realizado.

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos deste trabalho estão descritos nas subseções abaixo.

### **2.1 Objetivo geral**

Desenvolvimento de modelos computacionais que explorem satisfatoriamente alguns aspectos relativos à dinâmica populacional do pintado e que possam contribuir para o entedimento do impacto da atividade pesqueira.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Estudo dos efeitos da variação na probabilidade de mutação para o fenótipo (Taxa de mutação) sobre a dinâmica temporal do pintado.
- b) Estudo dos efeitos da variação na probabilidade do peixe ser encontrado (Esforço de pesca) sobre a dinâmica temporal do pintado.
- c) Estudo dos efeitos da variação na taxa de mutação e esforço de pesca sobre a dinâmica temporal do pintado.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é apresentado o referencial teórico, no qual são abordados conceitos sobre os efeitos de pesca seletiva, modelo Penna, modelo de crescimento von Bertalanffy e aspectos relativos à pesca e biologia do pintado.

#### 3.1 Efeitos da pesca seletiva

A pesca era inicialmente uma atividade de pequena escala que progrediu rapidamente com a chegada da Revolução Industrial. Esta atividade resulta na remoção seletiva de grupos de tamanhos ou idades diferentes, podendo acarretar em alterações nas densidades populacionais, levando a mudanças nos parâmetros reprodutivos dos peixes e na estrutura da comunidade (JOBILING, 1996).

Parâmetros como longevidade, tamanho e idade de primeira maturação, biomassa e taxa de crescimento de uma população sob o efeito da pesca, fornecem subsídios para a definição de estratégias de manejo que tornem sustentável a atividade pesqueira de uma determinada espécie ou região. O tamanho de primeira maturação, denominado  $L_{50}$  por alguns autores, é o tamanho no qual 50% da população encontra-se no estágio adulto e, portanto, o menor tamanho no qual a espécie começa a reproduzir sobre determinadas condições ambientais. Uma das formas de regulamentação da pesca, comumente utilizada, é a adoção de cotas e tamanhos mínimos de captura para cada espécie, tendo como efeito a retirada de peixes maiores e mais velhos. Essa forma de manejo baseia-se no princípio de que se o tamanho de captura for superior ao de primeira maturação ( $L_{50}$ ), o peixe pescado terá tido a oportunidade de se reproduzir pelo menos uma vez (GODINHO; GODINHO., 2003; AGOSTINHO, GOMES e PELICICE, 2007).

De acordo com Agostinho, Gomes e Pelicice (2007), o manejo de uma ati-

vidade pesqueira que favorece a captura dos peixes maiores e mais velhos, que por sua vez, possuem, em sua genética, uma maior taxa de crescimento, promove no restante da população, conseqüentemente os menores peixes, uma degradação genética. Com uma menor taxa de crescimento, os peixes menores passarão adiante seus genes que codificam menor crescimento, gerando uma porção de descendentes também pequenos. Enquanto isso, os maiores continuam a ser pescados e se tornam cada vez mais raros. No fim, toda a população da espécie fica menor.

Conover e Munch (2002) realizaram um experimento com populações de *Menidia menidia* (espécie parente da sardinha com certa importância nos desembarques comerciais) em tanques controlados, para avaliar o efeito da pesca seletiva sobre a taxa de crescimento desta espécie num período de quatro anos. A seletividade foi conduzida de três formas: captura apenas dos indivíduos menores, captura apenas dos indivíduos maiores e captura aleatória. Foi constatado, após quatro anos de experimentação, uma redução significativa no tamanho dos indivíduos e na taxa de crescimento média quando apenas os maiores peixes são capturados. Em contrapartida, quando eles retiravam só os menores peixes, o resultado era inverso, uma população final com mais indivíduos graúdos.

Além dos problemas de ordem genética, Birkeland e Dyton (2005), confirmando a necessidade de proteção dos indivíduos maiores ou mais velhos, concluíram que os peixes, mais velhos por serem mais experientes, possuem desovas mais bem sucedidas, fecundidade exponencialmente maior e originam larvas com maior potencial de sobrevivência do que larvas de peixes jovens, contribuindo assim com o sucesso da sobrevivência e reprodução da próxima geração. Isso significa que, após um evento de depleção (redução), espera-se uma recuperação mais rápida do estoque se a população tiver fêmeas de elevado tamanho corporal.

### 3.2 Modelo Penna

O Modelo Penna (PENNA, 1995), baseado em tiras de bits, o que é comum em modelagem computacional, foi proposto por T. J. P. Penna em 1995. Desde então, este modelo de "bit-string" tem sido amplamente utilizado para tratar diferentes aspectos referentes ao envelhecimento biológico por meio das técnicas de Monte Carlo. Este modelo é baseado na teoria de acúmulo de mutações, uma teoria evolucionária criada por Peter Medawar (ROSE, 1991). Segundo essa teoria, o envelhecimento é resultado do acúmulo de mutações deletérias, transmitidas hereditariamente e ativas em idades específicas, e do declínio da seleção natural em idades avançadas, nas quais a fertilidade é reduzida ou nula e os genes já foram transmitidos para os descendentes. Embora o modelo Penna tenha sido idealizado para a implementação em computadores, alguns estudos analíticos já foram realizados (PIZZA, 1997; BRIGATTI, MARTINS e RODITI, 2004; COE, MAO, 2004). Atualmente encontram-se na literatura inúmeros trabalhos baseados no modelo, onde vários aspectos são investigados, tais como: desaparecimento do bacalhau do norte devido a sobrepesca (MOSS, OLIVEIRA e PENNA, 1995); senescência catastrófica do salmão do Pacífico (PENNA, MOSS e OLIVEIRA, 1995); regulamentação da pesca de lagosta (PENNA, RACCO e SOUZA 2001); simulação da reprodução cíclica assexuada-sexuada (MARTINS e RACCO, 2001); estudo de microevolução na população de cabras das Ram Mountain (BRIGATTI, MARTINS e RODITI, 2005); dinâmica populacional de praga (GIAROLA, MARTINS e COSTA, 2006; OLIVEIRA, MARTINS e ZACARIAS, 2008); e sua interação com o inimigo natural (SOUZA, MARTINS e ZACARIAS, 2009). Outras aplicações podem ser encontradas em Oliveira, Oliveira e Stauffer (1999).

Por tratar-se de um modelo de "bit-string" toda a manipulação bit a bit é realizada por meio de operações lógicas (AND, OR e XOR), como ilustrado

na Tabela 1 para o caso particular de dois bits. Dessa forma, é possível simular populações com milhões de indivíduos, de forma simples e rápida, cujos tamanhos podem ser comparados aos de populações reais.

Tabela 1 Operações binárias AND, OR e XOR. A primeira coluna representa os valores possíveis de dois bits e nas demais colunas após a respectiva operação lógica.

bit	AND	OR	XOR
00	0	0	0
01	0	1	1
10	0	1	1
11	1	1	0

Vamos considerar uma população de indivíduos  $N_t$ , sendo  $t$  uma etapa temporal. A facilidade de implementação do Modelo Penna se deve ao fato de que cada indivíduo da população é representado por uma tira de bits (ou "palavra computacional"), isto é, uma sequência de 0's e 1's, o que possibilita armazenar informação de forma simples e compacta, não necessitando muito espaço de memória. Cada bit representa um intervalo de tempo na vida do indivíduo. A palavra computacional composta por  $A$  bits, denominada "genótipo", representa de fato, a leitura no tempo do momento a partir do qual uma mutação deletéria começa a se expressar. O valor "1" do bit em uma posição representa a expressão de uma mutação ruim naquela idade e que a mesma vai diminuir a probabilidade do indivíduo permanecer vivo. Note que a história do indivíduo está praticamente determinada no nascimento.

Para a simulação computacional, 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), diferenciando apenas no tempo necessário para que a população atinja uma estrutura etária estável.

Na Figura 1, temos um exemplo de "genótipo" para um indivíduo com até trinta e duas idades. Se a tira representasse humanos que vivem até 96 anos, cada posição deveria corresponder a 3 anos.

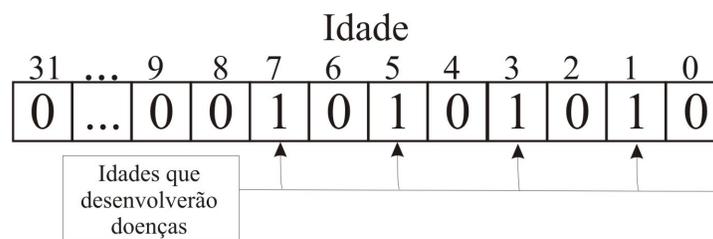


Figura 1 Exemplo do "genótipo" do indivíduo, representado por uma palavra computacional de 32 bits. Cada posição representa um intervalo de tempo na vida do indivíduo. Neste exemplo, mutações deletérias irão se manifestar nas idades 1, 3, 5 e 7, os bits setados em 0 indicam ausência de mutações naquela idade. A leitura é feita da direita para esquerda e iniciando em zero, inspirada pela representação dos bits no computador

A seleção natural é regulada pelo parâmetro T (de "threshold"), responsável pelo número limite de doenças acumuladas (mutações deletérias) suportadas por um indivíduo (este limite é o mesmo para toda a população). Este certamente morrerá se o número de mutações deletérias até a idade corrente for igual ao limite T (Figura 2).

Mesmo permitindo apenas mutações ruins, a população que se obtém com a dinâmica até aqui descrita cresce exponencialmente, pois não existe competição entre os indivíduos. Para manter o tamanho populacional, 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 indi-

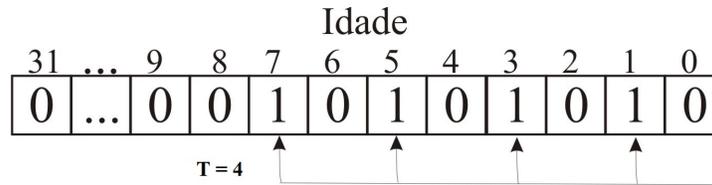


Figura 2 Exemplo do "genótipo" do indivíduo com mutações deletérias que irão se manifestar nas idades 1, 3, 5 e 7. Assumindo-se  $T = 4$  para toda a população, este indivíduo irá certamente morrer quando atingir a idade 7. Se for assumido  $T = 3$ , o indivíduo certamente morrerá ao atingir a idade 5

víduo cujo número de mutações deletérias até a idade atual for menor que o limiar  $T$ , irá sobreviver e envelhecer à etapa temporal seguinte com uma probabilidade  $P_l$  dada por:

$$P_l(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_{\max}}, \quad (3.1)$$

sendo  $N(t)$  o tamanho da população no tempo  $t$  e  $N_{\max}$ , denominado capacidade de carga do ambiente, o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta devido às restrições de espaço e alimento. O fator de Verhulst ( $\frac{N_t}{N_{\max}}$ ) será sempre um número real entre 0 e 1. Nos instantes em que a população total for próxima de  $N_{\max}$ , o fator de Verhulst será alto e incidirá fortemente na população diminuindo sua probabilidade de sobrevivência (3.1) e matando grande parte da população. Dessa forma, para cada indivíduo e em cada instante, compara-se  $P_l(t)$  com um número randômico entre 0 e 1. Se o número sorteado for maior que  $P_l(t)$  o indivíduo morre independente da idade ou do genótipo; caso contrário o indivíduo sobrevive.

A reprodução no modelo Penna (PENNA, 1995) é a etapa mais impor-

tante. Por tratar-se de uma versão assexuada, todos os indivíduos são haplóides e, portanto, representados por uma única tira de bits. O indivíduo que atingir a idade mínima de reprodução,  $R$ , dará origem a  $B$  filhos em cada instante  $t$ . O seu descendente terá o mesmo "genótipo" da mãe, exceto por  $M$  bits escolhidos aleatoriamente. Mutações benéficas e deletérias são facilmente implementadas no modelo Penna, embora em algumas aplicações do modelo têm-se adotado apenas os efeitos de mutações deletérias. A razão para isto se deve ao fato que, na natureza, as mutações de caráter deletério são mais frequentes que as benéficas. Neste trabalho, serão consideradas apenas as mutações deletérias, implementadas da seguinte forma: é feita uma cópia do "genótipo" da mãe e sorteia-se  $M$  (número de mutações deletérias) posições no "genótipo" cópia em que ocorrerão as mutações. Se o bit sorteado estiver setado em 0, passará a ser 1, se estiver setado em 1, continuará setado em 1. Para uma melhor ilustração do processo, observe a figura 3.

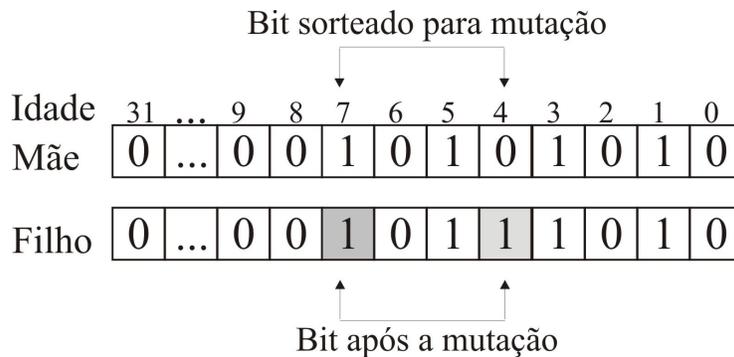


Figura 3 Obtenção do "genótipo" da filha, em que foram escolhidos, aleatoriamente, os bits 4 e 7, para inserir as mutações deletérias

Computacionalmente o efeito da mutação deletéria é garantido e facilmente implementado com o uso da operação (OR), tal operação é responsável pela alteração

$$\underbrace{0}_{\text{bit (4) do "genoma" da mãe}} \rightarrow \underbrace{1}_{\text{bit (4) do "genoma" da filha}} \quad \text{e a inalteração do} \quad \underbrace{1}_{\text{bit (7) do "genoma" da mãe}} \rightarrow \underbrace{1}_{\text{bit (7) do "genoma" da filha}} .$$

Dessa forma, o "genótipo" da filha, na melhor das hipóteses, será igual ao "genótipo" da mãe.

A dinâmica do modelo pode ser reduzida às seguintes etapas, para cada indivíduo:

1. reprodução, se já tiver atingido a maturidade sexual (idade  $\geq R$ );
2. teste de morte por fatores genéticos (depende da idade);
3. teste de morte por competição (independe da idade);
4. envelhecimento.

Após todos os indivíduos terem sido testados por todas estas etapas, uma etapa temporal é concluída.

Resumindo, o modelo Penna trabalha com os seguintes parâmetros:

**$N_{\max}$** : 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.

### 3.3 Modelo de crescimento 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 geralmente ser obtida por meio de 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, onde as flutuações sazonais não são tão perceptíveis, torna-se muito difícil, ou até mesmo impossível, usar os anéis sazonais para a determinação de idades. Por esta razão, outros métodos foram desenvolvidos para o uso em estruturas mais delicadas, chamadas anéis diários, com o objetivo de contar a idade dos peixes em número de dias. Esses 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 tamanho (SPARRE; VENEMA, 1997).

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 a dinâmica de população de qualquer ser vivo que tenha crescimento em função da idade.

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

$$L(j) = L_{\infty} \times \left[ 1 - e^{-K(j-j_0)} \right], \quad (3.2)$$

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

cimento de bovinos Zebu, criados no estado de Pernambuco (BARBOSA; ALBUQUERQUE; SOUZA, 2005); 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 aude Pereira de Miranda (SILVA; SAMPAIO; VIANA, 2005).

No gráfico 1, temos como ilustração do modelo de von Bertalanffy as curvas de crescimento em função da idade com diferentes valores de taxa de crescimento.

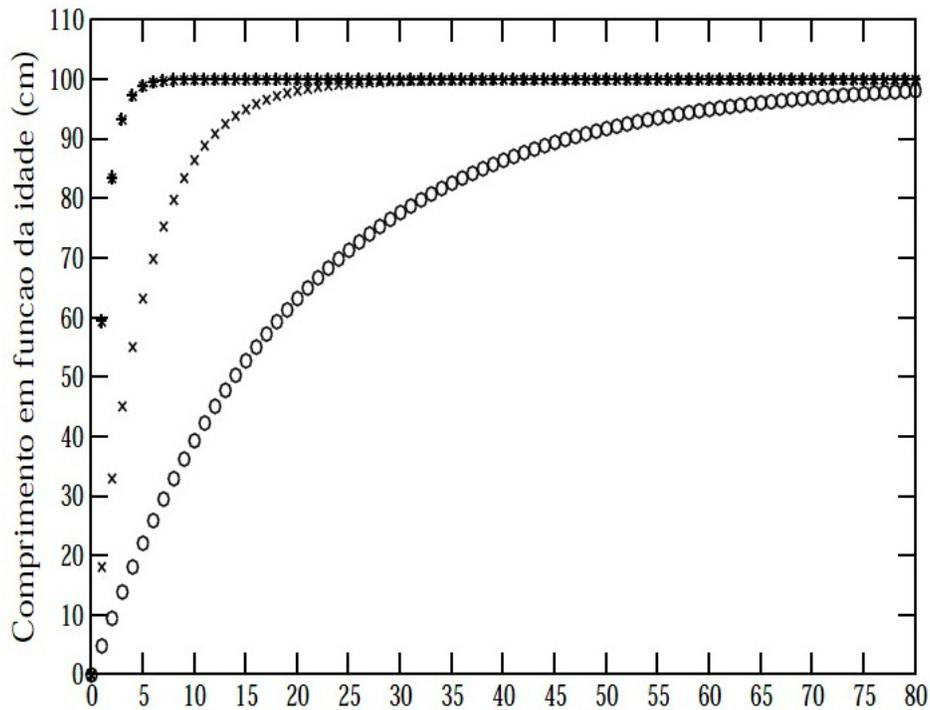


Gráfico 1 Curvas com diferentes taxas de crescimento.  $K=0,1 \text{ ano}^{-1}$  (o),  $K=0,2 \text{ ano}^{-1}$  (x) e  $K=0,9 \text{ ano}^{-1}$  (\*) sendo  $L_{\infty} = 100 \text{ cm}$  e  $j_0 = 0 \text{ anos}$

### 3.4 Aspectos relativos à pesca e biologia do Pintado

"O Pintado, *Pseudoplatystoma coruscans*, é um peixe bastante apreciado, tanto pelo sabor da carne, quase livre de espinhas, como pelo enorme tamanho que alcança. Bem conservado poderá rivalizar com as melhores conservas de peixe que se encontram no comércio (LUTZ; MACHADO, 1915).



Figura 4 Pescador ribeirinho expondo um pintado de aproximadamente 42,0 kg

O gênero *Pseudoplatystoma* Bleeker, 1862 compreende os maiores peixes da família Pimelodidae, da ordem dos Siluriformes, e esses podem ser encontrados nas principais bacias hidrográficas sul-americanas; regionalmente são conhecidos como “surubins” e “Pintados” (ROMAGOSA *et al.* , 2003). Sua distribuição inclui os maiores rios das bacias hidrográficas da América do Sul: o rio Paraná, Amazonas, Orinoco, São Francisco, entre outros (BURGESS, 1989).

De acordo com Lauder e Liem (1983), o pintado tem a seguinte posição sistemática:

<b>Super Classe:</b>	Pisces
<b>Classe:</b>	Osteichthyes
<b>Subclasse:</b>	Actinopterygii
<b>Ordem:</b>	Siluriformes
<b>Subordem:</b>	Siluroidei
<b>Família:</b>	Pimelodidae
<b>Gênero:</b>	<i>Pseudoplatystoma Bleeker, 1862</i>
<b>Espécie:</b>	<i>Pseudoplatystoma corruscans, 1862</i>

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 amplas e, frequentemente, nadadeiras dorsal e peitoral procedidas 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.

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 piscívoros, 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 e Penha (2007), bagres e pimelodídeos, dentre eles o pintado, 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 pintado sob o efeito da pesca seletiva, para avaliar o estado de conservação do estoque e discutir alternativas para o manejo dessa espécie.

A Tabela 2, apresenta algumas estimativas para os parâmetros populacionais como o comprimento assintótico médio ( $L_{\infty}$ ), taxa de crescimento médio ( $K$ ), idade teórica em que o comprimento é zero ( $j_0$ ), comprimento médio com uma probabilidade de 50% de maturação para a população ( $L_{50}$ ) e a idade média da 1ª maturação ( $I_m$ ), obtidos por (MATEUS; PENHA, 2007). O comprimento  $L_{50}$  é muito importante para estabelecer quotas de comprimento mínimo permitido para a captura de qualquer espécie.

Tabela 2 Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de pintado (*P. corruscans*) no Cuiabá, MT (MATEUS; PENHA, 2007).

Parâmetros	pintado
$L_{\infty}$	149,7 cm
$K$	0,127 ano <sup>-1</sup>
$j_0$	-0,871 ano
$L_{50}$	75,0 cm
$I_m$	4,60 anos

No Brasil, o comprimento mínimo de captura varia de espécie para espécie e de região a região. A pesca no rio Paraguai é regulamentada pelas resoluções 009/96 e 001/2000-CONSEMA. Estas resoluções estabelecem as quotas e comprimentos mínimos de captura. A resolução 001/2000-CONSEMA alterou de 80 cm para 85 cm, o comprimento mínimo de captura do Pintado.

A relação peso/comprimento tem sido utilizada para estimar a curva de

crescimento em peso e determinar qual o comportamento de crescimento. Outra importante relação é a da fertilidade/peso. De acordo com Miranda (1997), essas relações para o *P. corruscans* são dadas respectivamente por:

$$W(L) = 1.73410^{-6} L^{3.335} \quad (3.3)$$

$$b(W) = -890137 + 191074 W, \quad (3.4)$$

sendo  $L$  o comprimento em cm,  $b$  é a fertilidade e o  $W$  é o peso do indivíduo em kg.

Além do seu 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 por Miranda (1997) na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), levando-se em consideração todos os seus índices zootécnicos e as características de rendimento de carcaça, credenciaram a espécie como de alto potencial para a produção comercial.

## 4 METODOLOGIA

Para simulação da evolução temporal de uma população de pintado sujeita à pesca seletiva, será adotado o mesmo procedimento introduzido por Santos (2010), ou seja, será utilizado o modelo (PENNA, 1995) na sua versão assexuada e o modelo de von Bertalanfy (BERTALLANFY, 1938), com adaptações, de acordo com as características biológicas dessa espécie. No entanto, serão utilizados diferentes valores para a probabilidade de mutação do fenótipo, ou seja, taxa de mutação ( $\omega$ ) e diferentes valores para a probabilidade do peixe ser encontrado, ou seja, esforço de pesca ( $\gamma$ ).

Ao se referir à parte estruturada do modelo como "genótipo" e a parte não estruturada por idade de "fenótipo", comete-se um abuso de linguagem. Contudo, para distinguir com facilidade a parte estruturada, da não estruturada utilizam-se esses termos.

### 4.1 Modelo Penna adaptado à biologia e legislação de pesca do *P. corruscans*

As adaptações ao Modelo Penna foram propostas por Santos (2010), com o objetivo de estudar os efeitos da pesca seletiva do *P. corruscans* sobre as características de crescimento da espécie. Embora esta espécie se reproduza de forma sexuada, as adaptações foram feitas sobre a versão assexuada do modelo Penna, uma vez que não se pretendia estudar as características do crescimento com a distinção entre machos e fêmeas.

Como a população é constituída de indivíduos haplóides, o "genótipo" de cada indivíduo, responsável pelo envelhecimento, é representado por uma palavra computacional de 64 bits. Como o indivíduo cresce à medida que envelhece, foi acrescentado um traço fenotípico responsável pelo crescimento em comprimento.

Assim, o "fenótipo" do indivíduo é representado por outra palavra computacional de 64 bits que tal, como o "genótipo"; é definido ao nascer e permanece o mesmo durante todo o período de vida do indivíduo.

O "fenótipo" estabelece o valor da taxa de crescimento de cada peixe ( $k_i$ ), definida como:

$$k_i = \frac{\beta\theta}{64}, \quad (4.1)$$

sendo  $\theta$  (que é chamado o valor do fenótipo) a soma de todos os 1's presentes no fenótipo de cada peixe,  $\beta$  é um parâmetro que determina um valor máximo que a taxa de crescimento de cada peixe pode assumir. Assim, de acordo com o modelo de von Bertalanffy, para cada peixe o tamanho é assumido como função da idade:

$$L(j) = L_\infty[1 - e^{-k_i(j-j_0)}], \quad (4.2)$$

sendo  $L(j)$  o tamanho do peixe em *cm* na idade  $j$  em *anos*,  $L_\infty$  o comprimento assintótico em *cm*,  $k_i$  a taxa de crescimento de cada peixe em *ano*<sup>-1</sup> e  $j_0$  a idade teórica em que o comprimento é zero.

De acordo com Santos (1978), não existe um tamanho fixo em que cada peixe começa a reproduzir, mas a frequência aumenta gradualmente com o tamanho do peixe. Ao contrário do modelo Penna original, onde o indivíduo certamente torna-se maturo, quando atinge a idade mínima de reprodução  $R$ , aqui, com as adaptações, o peixe torna-se maturo num determinado comprimento com uma probabilidade de maturação  $m_i(L)$ . Esta probabilidade de maturação é modelada com uma função logística de comprimento dada por:

$$m_i(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_m(L-L_{im})}}, \quad (4.3)$$

sendo  $\beta_m$  o coeficiente de inclinação da curva de maturidade e o  $L_{im}$  é o comprimento com uma probabilidade de 50% de maturação para indivíduo  $i$ , dado por:

$$L_{im} = \alpha \times k_i \times L_\infty. \quad (4.4)$$

sendo  $\alpha$  um parâmetro que determina o valor máximo para o comprimento com uma probabilidade de 50% de maturação que cada peixe pode assumir.

Tendo atingido a maturidade, o peixe vai gerar  $b$  filhos em cada reprodução, de acordo com a equação (4.5), o número de filhos  $b$  é uma função linear do peso de cada peixe. Assim, considera-se que a fertilidade depende do peso de acordo com a seguinte equação:

$$b(W) = 1.0 + 2.0(W - W_{mat}), \quad (4.5)$$

sendo  $W_{mat}$  o peso no qual o peixe tornou-se maturo, é obtido de acordo com a seguinte equação:

$$W_{mat} = 1,734 \cdot 10^{-6} L_{mat}^{3,335}, \quad (4.6)$$

sendo  $L_{mat}$  o comprimento do peixe no momento em que torna-se maturo.

O peso de cada peixe a cada etapa temporal, é obtido de acordo com a seguinte equação:

$$W_i = 1,734 \cdot 10^{-6} L(j)^{3,335}, \quad (4.7)$$

sendo  $L$  o comprimento do peixe.

As filhas, ao nascerem, herdaram as duas palavras computacionais da mãe (genótipo e fenótipo) com a exceção de  $M$  bit(s) selecionados aleatoriamente. O

sorteio aleatório dos  $M$  bits, que representam o número de mutações ao nascer, é realizado para o genótipo e fenótipo, independentemente um do outro.

Para o genótipo de cada indivíduo, têm-se adotado apenas os efeitos de mutações deletérias (0 para 1). A razão para isto se deve ao fato que na natureza as mutações de caráter deletério são mais frequentes que as benéficas. Portanto, nas  $M$  idades selecionadas o genótipo do filho conterà 1's.

Para o fenótipo de cada indivíduo, as mudanças nos bits podem acontecer da seguinte forma, (0 para 1) ou de (1 para 0). No trabalho proposto por Santos (2010), a probabilidade de ocorrência de mutação para o fenótipo de cada indivíduo ( $\omega$ ) assumiu sempre o mesmo valor, 0.5. Na natureza, a variabilidade nas populações provocada por fatores ambientais restringe-se ao aspecto fenotípico.

A pesca seletiva é considerada da seguinte forma: a cada etapa temporal os peixes são encontrados com uma probabilidade  $\gamma$ , tal probabilidade é caracterizada, de forma geral, como o esforço de pesca a qual a população será submetida, logo, quanto maior a probabilidade, maior o esforço e maior será a chance dos peixes serem encontrados. No trabalho proposto por Santos (2010), o valor de  $\gamma$  foi assumido 0.5. Neste trabalho, serão considerados diferentes valores para  $\gamma$ . Os peixes encontrados são capturados com uma probabilidade dada pela curva de seletividade logística baseada na legislação de pesca atual:

$$s(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_s(L - L_s)}}, \quad (4.8)$$

sendo  $\beta_s$  o coeficiente de inclinação da curva de selectividade e  $L_s$  o comprimento de seletividade em 50%.

## 4.2 Legislação vigente

Uma das formas de regulamentação é a adoção de cotas e tamanhos mínimos de captura. Para tentar garantir que os peixes, antes de serem pescados, tenham pelo menos uma reprodução em seu histórico de vida, estabelece-se como tamanho mínimo de captura, um valor maior que o comprimento médio que 50% dos peixes da população são maturos. Na legislação atual, o comprimento  $L_{50}$  corresponde a 85 cm (001/2000-CONSEMA).

Neste trabalho, quando inserimos a pesca, assumimos um valor para  $L_s$  igual ao comprimento médio de maturação  $\bar{L}_m$  da população antes da pesca ser inserida, com o objetivo de não pescar peixes nesta população com comprimento inferior ao comprimento de maturação.

Também foi considerado um  $L_s = 85 \text{ cm}$ , com o intuito de verificar os efeitos de uma pesca seletiva que adota um comprimento mínimo de captura, maior que o comprimento médio de maturação da população.

## 4.3 Simulações

Para realização das simulações, foram desenvolvidos programas em linguagem C.

Para obtenção dos resultados, foram realizadas simulações classificadas nas seguintes configurações:

1. Simulação da dinâmica temporal sem taxa de mutação e esforço de pesca;
2. Simulação da dinâmica temporal para cada valor da taxa de mutação;
3. Simulação da dinâmica temporal para cada valor do esforço de pesca.

**3.1** Nesta configuração, em algumas simulações foi considerado um  $L_s = \bar{L}_m$ , e em outras um  $L_s = 85 \text{ cm}$ .

**4.** Simulação da dinâmica temporal de cada taxa de mutação com os diferentes esforços de pesca;

**4.1** Nesta configuração, foi considerado um  $L_s = \bar{L}_m$  no ato da pesca, e foi avaliado também, o comportamento da captura em função dos diferentes esforços de pesca numa população com taxa de mutação  $\omega = 0,001$ .

Em todas as simulações, exceto para  $\omega = 0,001$ , foram realizadas 100.000 etapas temporais. Para  $\omega = 0,001$ , foram necessárias 150.000 etapas temporais. Nas simulações com pesca, a pesca foi iniciada na etapa temporal 50.001, mantendo-se até a última etapa temporal.

Os valores médios das variáveis de interesse foram obtidos considerando-se as últimas 20.000 etapas temporais, para garantir que a população já tenha atingido uma estrutura etária estável.

Em todas as simulações, assumimos os seguintes valores:

$N_0 = 10.000$  (tamanho inicial da população);

$N_{max} = 100.000$  (capacidade de carga do ambiente);

$M = 1$  (quantidade de mutações para o genótipo e fenótipo);

$T = 1$  (limite de mutações para o genótipo e fenótipo);

$L_\infty = 149,7 \text{ cm}$  (comprimento assintótico);

$j_0 = -0,871$  (idade teórica em que o comprimento é zero);

$\beta = 0,333$

$$\alpha = 3,0$$

$$\beta_s = 0,1 \text{ (coeficiente de inclinação da curva de selectividade);}$$

$$\beta_m = 0,5 \text{ (coeficiente de inclinação da curva de maturidade);}$$

#### 4.4 Variáveis a serem medidas nas simulações

Nesta subseção é apresentado quais variáveis a serem medidas nas simulações.

##### 4.4.1 Curvas de sobrevivência

Quando se estudam aspectos de ecologia populacional de uma espécie, uma das características de grande importância a ser considerada é a sobrevivência, uma vez que este interfere diretamente no tamanho populacional das próximas gerações.

A sobrevivência corresponde ao número de indivíduos de uma população que passam de intervalos de idade pré-estabelecidos para outros. Para construir as curvas de sobrevivência, será calculada a taxa de sobrevivência para cada idade  $j$ , definida por

$$S_j = \frac{N_{j+1,t+1}}{N_{j,t}} \quad (4.9)$$

em que  $S_j$  é a taxa de sobrevivência dos indivíduos na idade  $j$ , e  $N_{j,t}$  é o número de indivíduos na idade  $j$  na etapa temporal  $t$ .

#### 4.4.2 Tamanho populacional

No estudo da dinâmica de populações, é importante conhecer a evolução temporal da população, assim como determinar a sua população média ( $\bar{N}$ ).

#### 4.4.3 Biomassa

Quando se lida com populações exploradas, a biomassa em *ton* (peso de todos os peixes) é uma característica bastante importante, assim como determinar a sua biomassa média ( $\bar{B}$ ), definida por:

$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^N W_i}{N}, \quad (4.10)$$

sendo,  $N$  o total da população.

#### 4.4.4 Captura em peso

Uma informação quantitativa, relevante aos pescadores, é o total de pescado capturado em *ton*, assim como o seu valor médio ( $\bar{C}$ ), definido por;

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} W_i}{N_c}, \quad (4.11)$$

sendo,  $N_c$  é o total de peixes capturados no ato da pesca.

#### 4.4.5 Comprimento médio de maturação ( $\bar{L}_m$ )

O comprimento do peixe é calculado de acordo com equação (4.2), tal peixe pode torna-se maturo neste comprimento de acordo com uma probabilidade de maturação (Eq.4.3), dado que ele tornou-se maturo, é salvo o seu comprimento ( $L_{i,m}$ ). O valor médio do comprimento de maturação da população é definido por

$$\bar{L}_m = \frac{\sum_{i=1}^N L_{i,m}}{N}, \quad (4.12)$$

#### 4.4.6 Taxa de crescimento médio ( $\bar{K}$ )

A taxa de crescimento médio é definido por ;

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^N k_i}{N}, \quad (4.13)$$

sendo  $k_i$  a taxa de crescimento de cada indivíduo.

Logo, o desvio padrão populacional da taxa de crescimento ( $\sigma_K$ ) é dado por;

$$\sigma_K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (k_i - \bar{K})^2}{N}}. \quad (4.14)$$

#### 4.4.7 Resumo da dinâmica do modelo Penna adaptado à biologia e legislação de pesca do pintado

##### População inicial

São gerados  $N_0$  peixes, e atribuídos a estes genótipos limpos, ou seja, genótipos com todos os bits setados em zero (ausência de mutação), além de garantir que nenhum peixe da população inicial morra por acúmulo de mutação, indica que todos os peixes possuem idade zero. O genótipo desta população é definido da seguinte forma, é atribuído para cada peixe de forma aleatória, a quantidade de bits  $1 (\theta)$  setados em seu genótipo.

Com os genótipos da população definidos, será calculado a taxa de crescimento de cada peixe de acordo com a equação 4.1. Consequentemente, será calculado o comprimento de cada peixe em função da idade e seu respectivo peso, de acordo com as equações 4.2 e 4.7.

#### **Dinâmica temporal**

A dinâmica temporal será iniciada com a população definida anteriormente, todos os peixes dessa população serão submetidas as seguintes etapas;

#### **Maturação**

Será calculado para cada peixe, o comprimento no qual ele possui 50% de probabilidade de maturação, de acordo com a equação (4.4). Esta probabilidade é modelada com uma função logística do comprimento (eq. 4.3).

A decisão de maturação de cada peixe, em cada etapa temporal, é tomada com a comparação de um número randômico entre 0 e 1 ( $s_1$ ) com o valor de  $m_i(L)$ , se  $s_1 \leq m_i(L)$ , o peixe se tornará maturo em determinada etapa temporal, com comprimento e peso calculados anteriormente. Os peixes que não se tornaram maturos, evidentemente, não irão reproduzir nesta etapa temporal.

A fecundidade dos peixes maturos é calculada com equação (4.5). As filhas terão a cópia do genótipo da mãe com  $M$  bit(s) selecionado(s) aleatoriamente, onde ocorrerá a mutação deletéria.

Os fenótipos das filhas irão diferir das suas mães por uma probabilidade

$\omega$ , salvo que, neste trabalho o fenótipo define a taxa de crescimento de cada peixe.

### **A pesca**

No ato da pesca os peixes sofrem uma probabilidade  $\gamma$  de serem encontrados, se encontrados são capturados com uma probabilidade dada pela equação (4.8).

### **Morte**

Na simulação sem pesca os peixes poderão morrer por um dos três fatores:

1. Se tiver atingido 64 anos, ou seja, por envelhecimento;
2. Por ter atingido o limite de mutações deletérias em seu genótipo ( $T$ ). O valor que a variável  $T$  assume é definida arbitrariamente, implicando em uma estabilização da estrutura etária da população em maior ou menor tempo. Foi assumido o valor 1 para esta variável, pelo fato de sucessos obtidos nas simulações de trabalhos anteriores, como Santos (2010) e Souza (2010).
3. Competição por espaço e alimento (fator de Verhulst).

Na simulação com pesca, os peixes poderão morrer pelos fatores descritos anteriormente ou por serem pescados.

### **Envelhecimento**

Após os peixes terem sido testados por todas estas etapas, uma etapa temporal é concluída e os peixes que sobreviveram, passarão para a próxima etapa temporal com acréscimo de 1 ano nas suas idades.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as simulações partem da mesma população inicial, porém, na evolução temporal de cada simulação, a população inicial é submetida a um situação específica em relação ao esforço de pesca, e (ou) taxa de mutação. Os resultados obtidos neste trabalho, são apresentados em quatro etapas.

- 1<sup>a</sup> Simulação da dinâmica temporal de uma população sem variação nas taxas de mutação e esforços de pesca;
- 2<sup>a</sup> Simulação da dinâmica temporal de uma população sem pesca e diferentes taxas de mutação;
- 3<sup>a</sup> Simulação da dinâmica temporal de uma população submetida a diferentes esforços de pesca na ausência de mutação;
- 4<sup>a</sup> Simulação da dinâmica temporal de uma população submetida a diferentes esforços de pesca e taxa de mutação.

### 5.1 Dinâmica temporal sem pesca

Nesta subseção é apresentado os resultados da dinâmica temporal sem pesca.

#### 5.1.1 Na ausência de taxa de mutação para o fenótipo ( $\omega = 0.0$ )

No gráfico 2 (a), temos a distribuição de frequência da taxa de crescimento ( $k$ ) da população inicial ( $t = 1$ ), onde pode-se observar que a maior parte dos indivíduos possui um  $k$  entre 0, 14 e 0, 18.

Observamos que em  $t=100.000$  (gráf. 2 (b)), todos os indivíduos apresentam o mesmo valor de  $K \simeq 0,193$  (isto já se observa em etapas anteriores a 100.000). Para as condições consideradas, o sistema evolui para a configuração fenotípica mais adaptada ao ambiente, ou seja, os menos adaptados são eliminados da população. Entende-se aqui como mais adaptados aqueles com mais sucesso reprodutivo.

Devido a ausência de mutações, o sistema evolui para uma configuração sem variabilidade fenotípica, uma vez que os filhos são idênticos aos seus genitores.

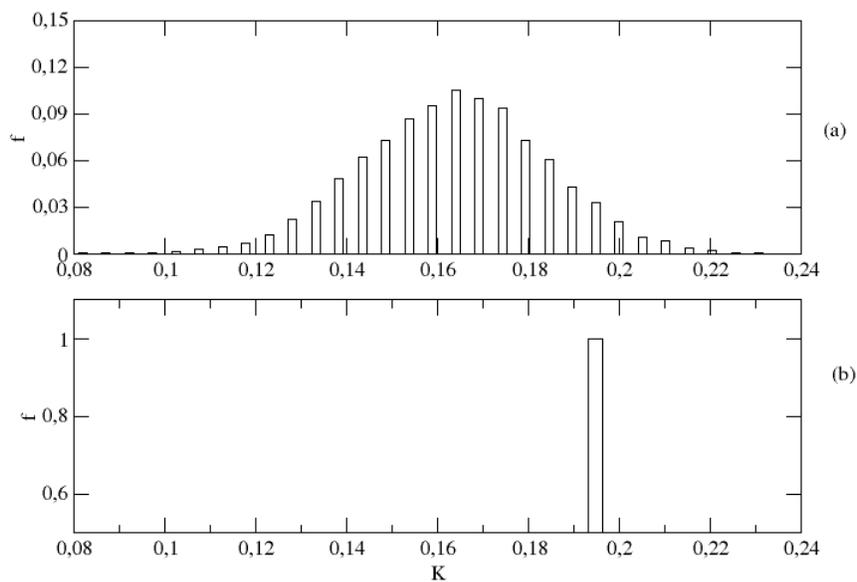


Gráfico 2 Distribuição de frequência de  $K$  em (a)  $t=1$  e (b)  $t=100.000$

As características fenotípicas, tais como taxa de crescimento ( $K$ ), tamanho de maturação ( $L_m$ ) e idade de maturação ( $I_m$ ), influenciam diretamente no

rendimento dos peixes. São apresentados na Tabela 3, os valores médio das características fenotípicas e populacionais obtidos nesta simulação. Entende-se, aqui neste trabalho, características populacionais como: tamanho da população ( $N$ ), Biomassa da população ( $B$ ) e total de peixes capturados ( $C$ ).

Tabela 3 Valor médio de algumas características fenotípicas e populacionais do pintado na ausência de taxa de mutação para o fenótipo.

Características	Valores
$\bar{K}$	0,193 ( $ano^{-1}$ )
$\bar{L}_m$	91,93 ( $cm$ )
$\bar{I}_m$	4,02 ( $ano$ )
$\bar{N}$	41.058,9
$\bar{B}$	69,70 ( $ton$ )

### 5.1.2 Considerando diferentes taxas de mutação para o fenótipo

No gráfico 3, são apresentadas as curvas de sobrevivência do pintado para três taxas de mutação, é observado que a mudança nos valores da taxa de mutação não influencia a longevidade da população. Nas três situações os peixes possuem uma longevidade em média de 11 anos.

No gráfico 4, temos o comportamento da distribuição da taxa de crescimento da população, submetida a três diferentes taxas de mutação. Observa-se que a distribuição de frequência desloca-se para a esquerda com o aumento na taxa de mutação, reduzindo a taxa de crescimento médio em relação à situação sem mutação.

Com a inclusão das taxas de mutação permite-se a variabilidade fenotípica ausente na situação anterior, com  $\omega = 0$ . Observa-se, na tabela 4, que a variação na taxa de mutação causa um aumento na variabilidade da taxa de crescimento dos peixes ( $\sigma_K$ ), e uma redução na taxa de crescimento médio ( $\bar{K}$ ). A população

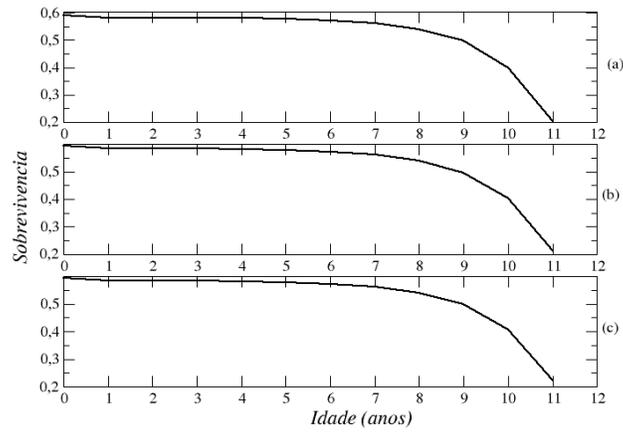


Gráfico 3 Curvas de sobrevivência do pintado. (a)  $\omega = 0,1$ , (b)  $\omega = 0,5$  e (c)  $\omega = 1,0$

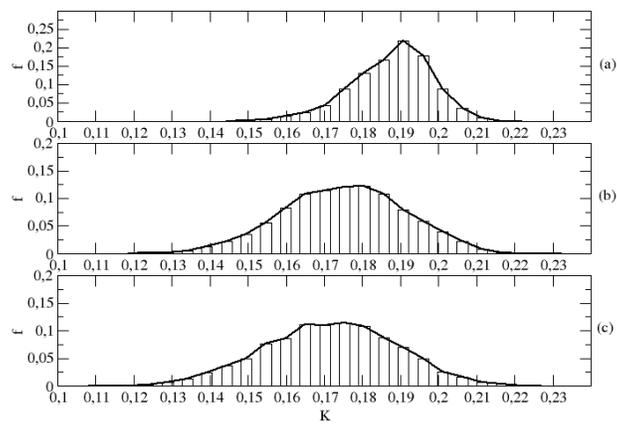


Gráfico 4 Comportamento da distribuição de frequência de  $K$  da população submetida a diferentes taxas de mutação. (a)  $\omega = 0,1$ , (b)  $\omega = 0,5$  e (c)  $\omega = 1,0$

submetida a uma baixa probabilidade de mutação no seu fenótipo ( $\omega = 0,1$ ), possui 21,96% dos indivíduos com taxa de crescimento  $\simeq 0,190$ , sendo esta, a mais adaptada para aquele ambiente. Para as demais taxas de mutação, observa-se uma redução, não só no valor da taxa de crescimento mais adaptada, como na quantidade de indivíduos que possuem essa taxa de crescimento. Para a taxa de mutação ( $\omega = 0,5$ ) e ( $\omega = 1,0$ ) temos respectivamente 12,25% e 11,16% da população, peixes com taxa de crescimento mais adaptada ao ambiente ( $\simeq 0,180$  e  $\simeq 0,165$ ).

Tabela 4 Estatística da distribuição de frequência de  $K$  para três diferentes taxas de mutação.

$\omega$	$\bar{K}$	$\sigma_K$	moda (K)	f (%)
0,1	0,186	0,011	0,190	21,96
0,5	0,174	0,016	0,180	12,25
1,0	0,160	0,017	0,165	11,16

É observado na Tabela 5 que o crescimento mais lento dos peixes influencia diretamente nas características da população. A redução no valor médio da taxa de crescimento da população, com o aumento da taxa de mutação, promoveu também uma redução no valor médio do comprimento de maturação, idade de maturação, tamanho populacional e biomassa.

Nos gráficos 5, 6, 7, 8 e 9, são apresentados os valores médios das características fenotípicas e populacionais em função de todas as taxas de mutação utilizadas neste trabalho.

No gráfico 5, como já foi dito, observa-se que o aumento na taxa de mutação promove um crescimento mais lento dos peixes.

Quanto maior a taxa de mutação, mais jovens os peixes começam a investir na reprodução, com a finalidade de reproduzirem o máximo de vezes possível (Gráfico 6).

Tabela 5 Comportamento de algumas características fenotípicas e populacionais.

$\omega$	Características	Valores
0,1	$\bar{K}$	0,186
	$\bar{L}_m$	89,5
	$\bar{I}_m$	4,0
	$\bar{N}$	40.513,8
	$\bar{B}$	63,12
0,5	$\bar{K}$	0,174
	$\bar{L}_m$	84,9
	$\bar{I}_m$	3,94
	$\bar{N}$	40.445,4
	$\bar{B}$	59,13
1,0	$\bar{K}$	0,160
	$\bar{L}_m$	83,0
	$\bar{I}_m$	3,90
	$\bar{N}$	40.400,3
	$\bar{B}$	57,19

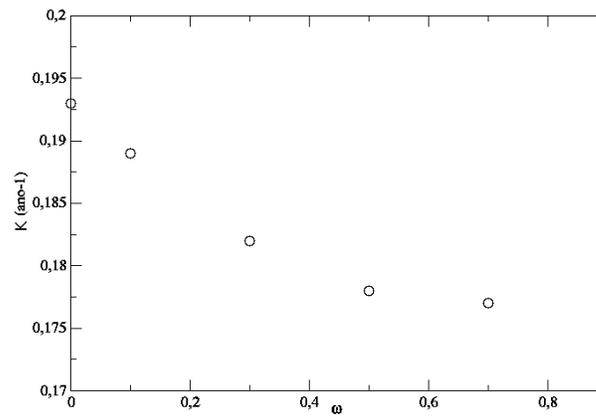


Gráfico 5 Taxa de crescimento médio em função das taxas de mutação para o fenótipo

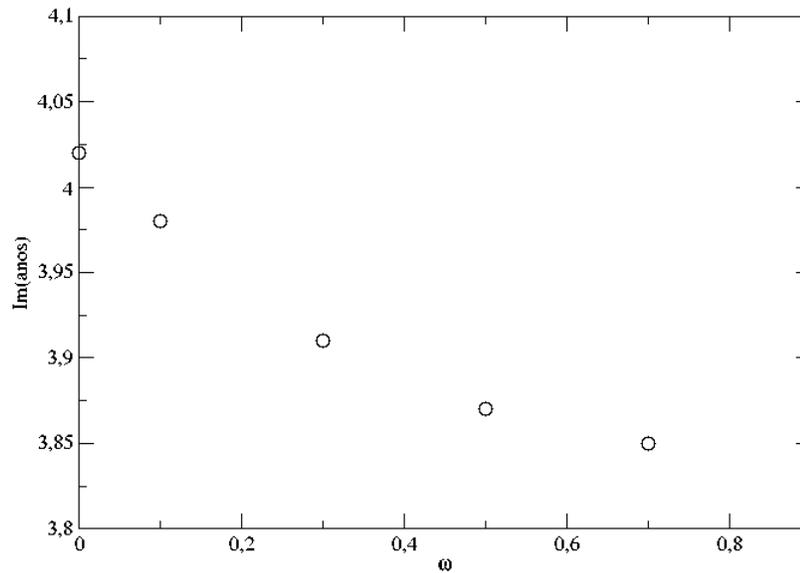


Gráfico 6 Idade de maturação média em função das taxas de mutação para o fenótipo

O comprimento dos peixes é calculado em função da sua idade (Eq.4.2), logo, a redução na idade de maturação causada pelo o aumento na taxa de mutação implica também na redução do comprimento no qual os peixes vão começar a reproduzir (Gráfico 7).

O peso, uma das principais medidas utilizadas para os estudos de biologia pesqueira, envolve o comprimento (Eq. 4.7), com isso, a redução no peso do peixe influencia fortemente na biomassa da população (Gráfico 8), na geração de indivíduo, ou seja, a fertilidade (Eq.4.6), por sua vez, no tamanho da população (Gráfico 9).

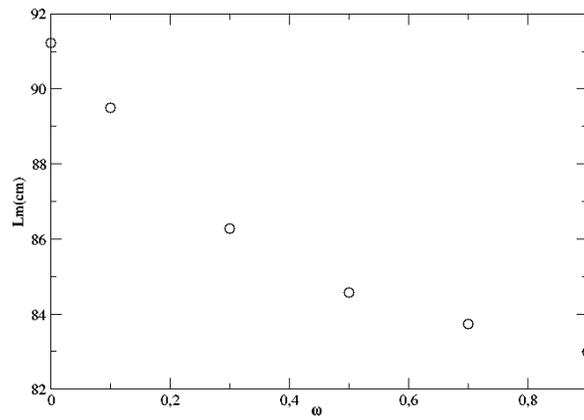


Gráfico 7 Comprimento médio de maturação em função das taxas de mutação para o fenótipo

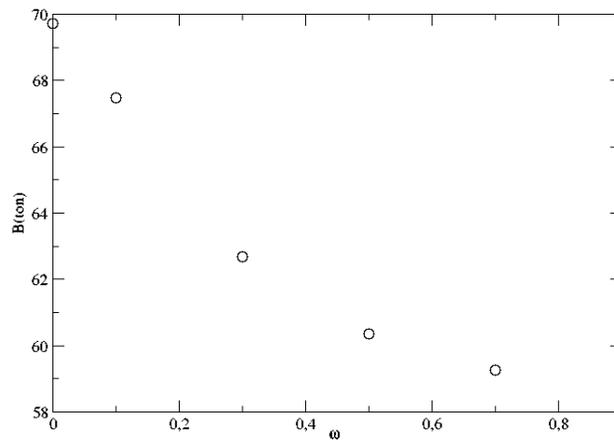


Gráfico 8 Biomassa média da população em função da taxa de mutação para o fenótipo

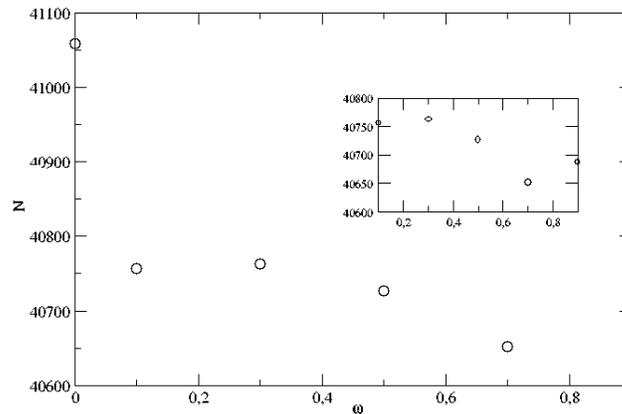


Gráfico 9 Tamanho populacional médio em função da taxa de mutação para o fenótipo

## 5.2 Dinâmica temporal com pesca sob diferentes esforços de pesca

Nesta subsecção é apresentado os resultados da dinâmica temporal sob diferentes esforços de pesca.

### 5.2.1 Na ausência de taxa de mutação para o fenótipo ( $\omega = 0$ .)

No gráfico 10, observamos que a taxa de crescimento médio não varia com o aumento do esforço, mantendo o mesmo valor obtido na situação sem pesca, discutida em seção anterior. Este comportamento já era esperado, uma vez que assumiu-se  $\omega = 0$ .

Nos gráficos 11 e 12, observamos um decréscimo na idade média e comprimento médio de maturação, respectivamente, com o aumento do esforço. À

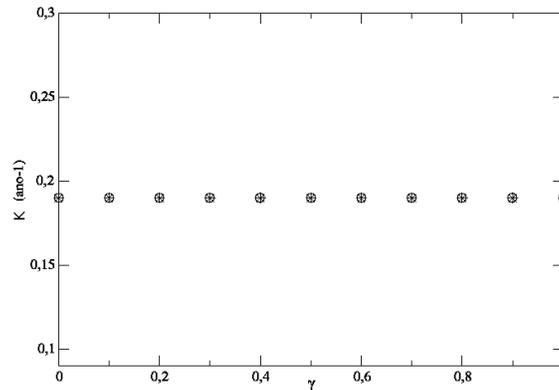


Gráfico 10 Taxa de crescimento médio ( $\bar{K}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar a mutação ( $\omega=0$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

medida que o esforço de pesca aumenta, fica mais acentuada a diferença entre as curvas com diferentes comprimentos a 50% de captura ( $L_s$ ). Com o aumento do esforço de pesca, aumenta a probabilidade de captura de peixes maiores e também, daqueles que maturam com comprimentos maiores.

Consequentemente, o aumento no esforço de pesca reduz o valor médio do comprimento mínimo de maturação ( $\bar{L}_m$ ).

A pesca naturalmente reduz o tamanho populacional (gráf. 13) assim como a biomassa (gráf. 14), devido à retirada dos peixes de seu ambiente natural. Em adição, a pesca seletiva que protege os indivíduos mais jovens e menores, ao retirar do ambiente os indivíduos maiores, elimina da população aqueles que são capazes de gerar mais descendentes, uma vez que a fertilidade depende do peso do indivíduo. Observamos que as reduções, em  $\bar{N}$  e  $\bar{B}$  com o aumento do esforço, são mais acentuadas com  $L_s = 85$  cm, uma vez que este comprimento é menor que o comprimento médio de maturação na ausência de pesca.

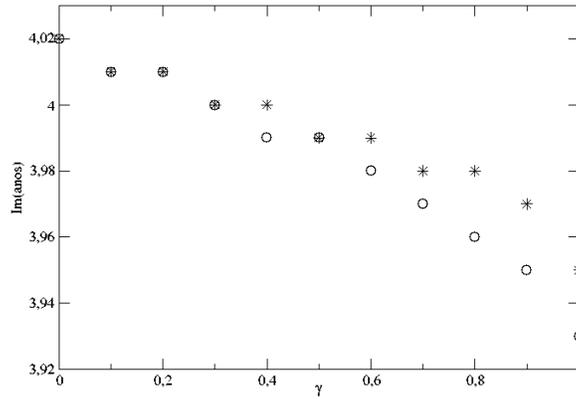


Gráfico 11 Idade de maturação média ( $\bar{I}_m$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar a mutação ( $\omega$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

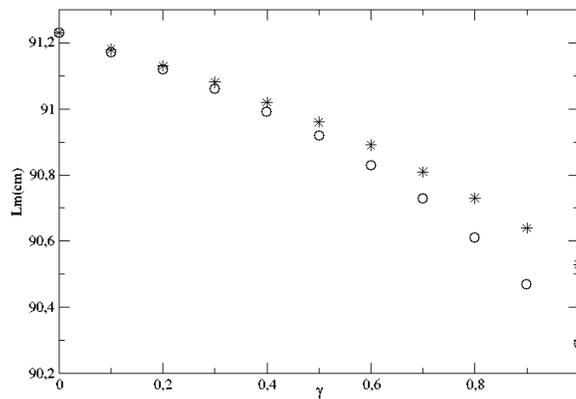


Gráfico 12 Comprimento médio de maturação ( $\bar{L}_m$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar a mutação ( $\omega=0$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

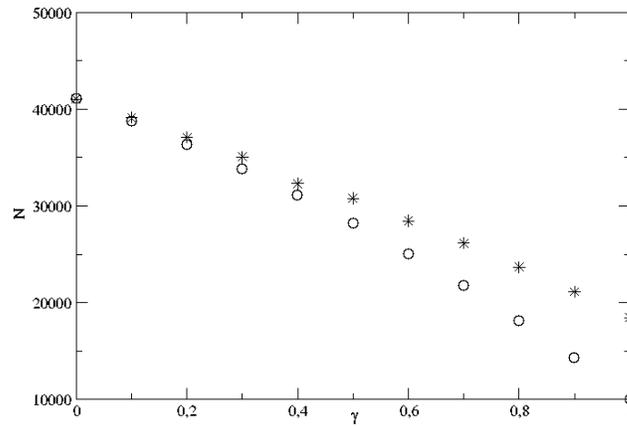


Gráfico 13 Tamanho populacional médio ( $\bar{N}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar a mutação ( $\omega=0$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

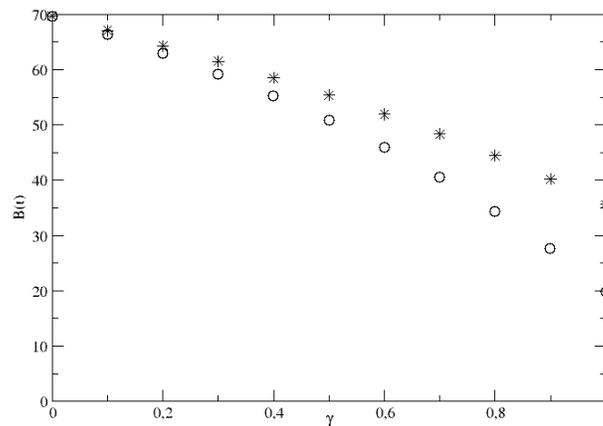


Gráfico 14 Biomassa média ( $\bar{B}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar a mutação ( $\omega=0$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

No gráfico 15, observamos, em ambas as curvas, um aumento na captura média com o aumento do esforço até  $\gamma=0,7$ . A partir deste valor, a captura reduz com o aumento do esforço em ambas as curvas, sendo o decréscimo mais acentuado quando considerado  $L_s = 85$  cm. No entanto, para valores de  $\gamma$  menores que 0,7, observamos uma captura maior para  $L_s = 85$  cm. Isto provavelmente ocorre pois até este valor para  $\gamma$  os valores para  $L_m$  não são suficientemente diferentes para gerar grandes diferenças na fertilidade. Este comportamento, segundo o qual existe um valor de esforço que torna máxima a captura, está de acordo com o que se observa na literatura (GRAHAM, 1935).

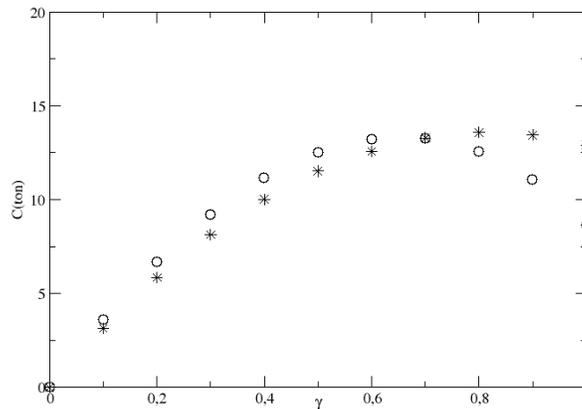


Gráfico 15 Captura média ( $\bar{C}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sem considerar mutação ( $\omega=0$ ) com  $L_s=85$  cm (círculo) e  $L_s=91$  cm (estrela)

### 5.2.2 Considerando diferentes taxas de mutação para o fenótipo

No gráfico 16, ao contrário da situação em que a taxa de mutação para fenótipo era nula, observamos a redução da taxa de crescimento médio com o au-

mento do esforço ( $\gamma$ ). Agora, a pressão gerada pela pesca favorece os fenótipos com taxa de crescimento menor, os quais escaparão mais facilmente da captura pela pesca. Os fenótipos com crescimento mais lento são, portanto, os mais adaptados às novas condições ambientais.

A redução nos valores médios da idade de maturação (gráf. 17) e comprimento de maturação (gráf 18) apresentam como causa a vantagem adaptativa dos fenótipos com crescimento mais lento. Comparando os gráficos 18 e 12, observamos um decaimento mais rápido do comprimento de maturação com o aumento do esforço de pesca quando consideramos a presença de mutação.

No gráfico 19, observamos também a redução na biomassa com o aumento do esforço de pesca, tal como observado na gráfico 14, embora a biomassa decaia mais rapidamente quando a mutação no fenótipo é inserida. O decaimento da biomassa, assim como das outras características ( $\bar{k}$ ,  $\bar{I}_m$  e  $\bar{L}_m$ ) não apresentam grandes diferenças sob diferentes taxas de mutação.

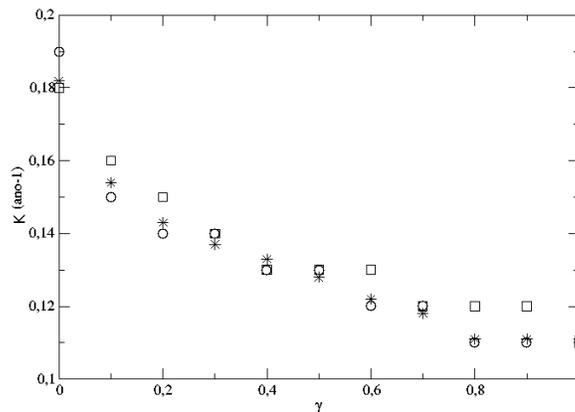


Gráfico 16 Taxa de crescimento médio ( $\bar{K}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sob diferentes taxas de mutação:  $\omega = 0,1$  (círculo),  $\omega = 0,3$  (estrela) e  $\omega = 0,5$  (quadrado)

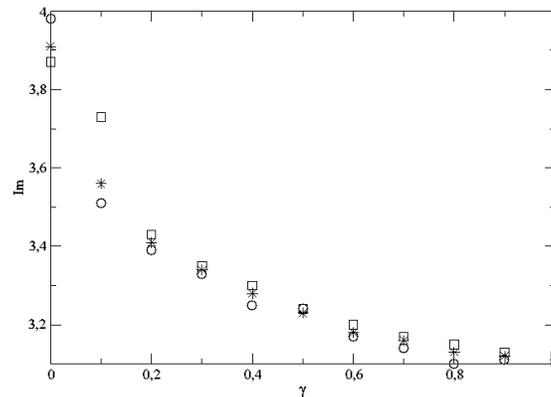


Gráfico 17 Idade de maturação média ( $\bar{I}_m$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sob diferentes taxas de mutação:  $\omega = 0,1$  (círculo),  $\omega = 0,3$  (estrela) e  $\omega = 0,5$  (quadrado)

Comparando os gráficos 20 e 15, observamos grande redução na captura quando considerada a mutação dos fenótipos. Isto é esperado, pois, com a inclusão da mutação, a redução na taxa de crescimento médio aumenta o número de peixes que escapam da captura. Ao contrário dos outros parâmetros biológicos, a captura apresenta comportamentos distintos em relação à taxa de mutação. Para as taxas de mutação  $\omega = 0,3$  e  $\omega = 0,5$ , não observamos uma redução acentuada na captura com o aumento do esforço. Quando considerada a taxa de mutação  $\omega = 0,1$ , observa-se que a captura é máxima para um dado valor do esforço ( $\gamma = 0,5$ ) e a partir daí, decai mais rapidamente em relação as taxas de mutação 0,3 e 0,5. No entanto, de acordo com a literatura sobre pesca, a captura deveria reduzir com o aumento da pesca e não se estabilizar, como observamos no gráfico 20 (GRAHAM, 1935).

No gráfico 21, é apresentada a captura em função do esforço considerando a taxa de mutação  $\omega = 0,001$ . Neste caso, observamos claramente a redução da captura em função do esforço como observado na literatura (GRAHAM, 1935).

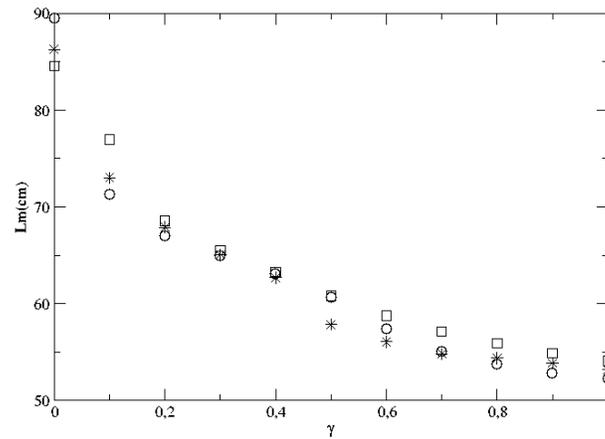


Gráfico 18 Comprimento médio de maturação ( $\bar{L}_m$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sob diferentes taxas de mutação:  $\omega = 0,1$  (círculo),  $\omega = 0,3$  (estrela) e  $\omega = 0,5$  (quadrado)

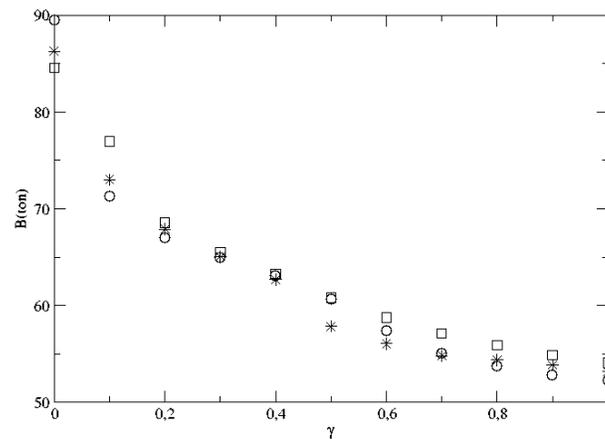


Gráfico 19 Biomassa média ( $\bar{B}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sob diferentes taxas de mutação:  $\omega = 0,1$  (círculo),  $\omega = 0,3$  (estrela) e  $\omega = 0,5$  (quadrado)

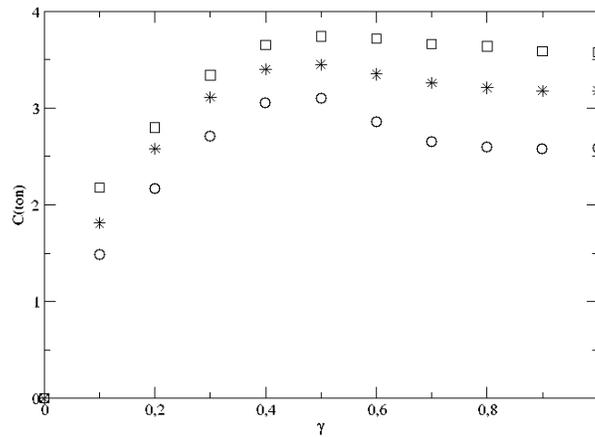


Gráfico 20 Captura média ( $\bar{C}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) sob diferentes taxas de mutação:  $\omega=0,1$  (círculo),  $\omega=0,3$  (estrela) e  $\omega=0,5$  (quadrado)

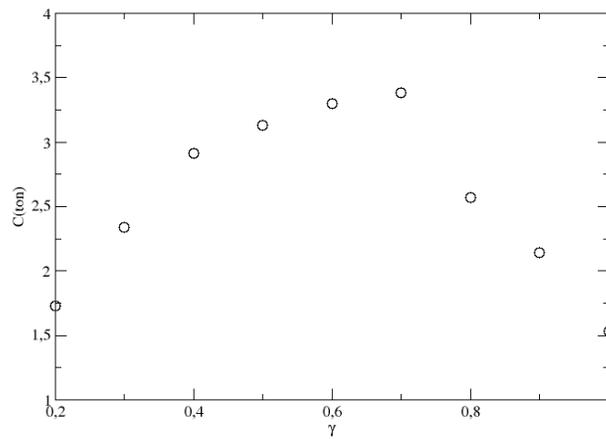


Gráfico 21 Captura média ( $\bar{C}$ ) em função do esforço de pesca ( $\gamma$ ) com taxa de mutação  $\omega=0,001$

## 6 CONCLUSÃO

A simulação computacional de diferentes taxas de mutação e esforços de pesca para uma população de pintado, é um instrumento útil para indentificar as possíveis alterações nas características fenotípicas e populacionais desta espécie. Os resultados apresentados, neste trabalho, podem fornecer subsídios para programas de conservação da espécie *Pseudoplatystoma corruscans*.

Em relação a uma população que não é submetida à pesca, tem-se uma redução nos valores das características fenotípicas e populacionais em função do aumento da taxa de mutação da população, também foi constatado a redução nas mesmas características (com exceção da captura) em função do aumento do esforço de pesca, porém, tal redução é mais acentuada, quando é considerado um tamanho mínimo de captura menor que o comprimento médio de maturação da população.

Observamos também a redução nas características quando é considerado a variação na taxa de mutação e esforço de pesca, as reduções não apresentam grandes diferenças sob diferentes taxas de mutação para cada esforço de pesca utilizado.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501p.

AGOSTINHO, A. A.; THOMAS, S. M. Análise descritiva das capturas de peixes e condições ambientais em uma planície de inundação do rio paraná. In: **Resumos do IX Encontro Brasileiro de Ictiologia**. Maringá, PR: [s.n.], 1991. p.136.

BARBOSA, K. R. S. S. B. P.; ALBUQUERQUE BRASIL, L. H. de; SOUZA SANTOS, E. de. 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, 2005.

BEHR, E.; HAYASHI, C. Alimentação de larvas de pseudoplatystoma corruscans (agassiz, 1829) em bandejas bersário durante o período crítico. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA**. São Paulo: Resumos., 1997. v. 12. São Paulo: Sociedade Brasileira de Ictiologia, 1997 . p.51.

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

BIRKELAND, C.; DAYTON, P.K. The importance in fishery management of leaving the big ones. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 7, p. 356-358, July 2005.

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

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

BURGESS, W. E. **An atlas of freshwater and marine catfishes: a preliminary survey of the Siluriformes**. [S.l.]: Neptune City: TFH Publications, 1989. 784 p.

CASTELLO, J. P. Gestão sustentável dos recursos pesqueiros, isto é realmente possível ? **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 1, p. 47-52, 2007. PANAMJAS.

COE, J.; MAO, Y. **Population dynamics in the penna model**. [S.l.]: Physica Review E, 2004. 041907-041912 p.

CONOVER, D. O.; MUNCH, S. B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. **Science**, v. 297, n. 5578, p. 94-96, July 2002.

CREPALDI, D. V.; FARIA, P. M.; A. TEIXEIRA, E. de; RIBEIRO, L. P.; AUGUSTO P. COSTA ÂNGELO; MELO, D. C. de; CINTRA, A. P. R.; A. PRADO, S. de; COSTA, F. A. A.; DRUMOND, M. L.; LOPES, V. E.; MORAES, V. E. de. Biologia reprodutiva do surubim. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. 3/4, p. 59-167, maio/agosto 2006.

GRAHAM, M. Modern theory of exploitation a fishery and application to North Sea trawling. **J. Cons. CIEM**, v.10, n. 3, p. 264-274, 1935.

GIAROLA, L. T.P.; MARTINS, S.; COSTA, M. C. P. T. Computer simulation of aphis gossypii insects using penna ageing model. **Physica A-Statistical Mechanics And Its Applications**, v. 368, n. 1, p. 147-154, 2006.

GODINHO, A. L.; GODINHO., H. P. Breve visão do São Francisco. In: **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 468.

JOBLING, M. **Environmental biology of fishes**. [S.l.]: Chapman & Hall, 1996. 455 p.

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.

LUTZ, A.; MACHADO, A. **A viagem pelo rio São Francisco e por alguns dos seus afluentes entre Pirapora e Joazeiro.** [S.l.]: Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 1915. 1-50 p.

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

MARTINES, O. R. L.; 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.

MARTINS, J. S. S.; RACCO, A. Simulated emergence of cyclic sexual-asexual reproduction. **Physica A**, v. 297, p. 485-494, 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, pimelodidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 1, p. 87-98, março 2007.

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

MIRANDA, M. O. T. de. **O surubim.** [S.l.]: IBAMA, 1997. 9-25 p. (Coleção Meio Ambiente, Série Estudo Pesca, v. 19).

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

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, S. G. F.; ZACARIAS, M. Computer simulation of the coffee leaf miner using sexual penna aging model. **Physica. A**, v. 387, p. 476-484, 2008.

OLIVEIRA, S. M. de; OLIVEIRA, P. M. C. de; STAUFFER, D. **Evolution, money, war and computers**. [S.l.]: B. G. Stuttgart/Leipzig: Teubner, 1999. 156 p.

PENNA, T. J. P. A bit string model for biological aging. **Journal of Statistical Physics**, v. 78, n. 5/6, p. 1629-1633, December 1995. New York.

PENNA, T. J. P.; MOSS, S.; OLIVEIRA, D. Mutation accumulation and the catastrophic senescence of the pacific salmon. **Physical Review E**, v. 52, p. R3309, 1995.

PENNA, T. J. P.; RACCO, A.; SOUZA, A. O. Can microscopic models for age-structured populations contribute to ecology **Physica A**, v. 295, p. 31-37, 2001.

PIZZA, A. F. R. T. **Dynamics of the bit-string model of age structured population**. Amsterdam: Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications, 1997. 195-218 p.

ROMAGOSA, E.; PAIVA, P.; ANDRADE-TAMELLI, E.; GODINHO, H. Biologia reprodutiva de fêmeas de cachara, *pseudoplatystoma fasciatum* (teleostei, siluriformes, pimelodidae), mantidas em cativeiro. **Bol Inst Pesca**, v. 29, p. 151-159, 2003.

ROSE, M.R. **Evolutionary Biology of Aging**. [S.l.]: Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications, 1991. 238 p.

SANTOS, E. **Peixes de água doce (Vida e costumes dos peixes do Brasil)**. [S.l.]: Itatiaia, 1981. 267 p. (Coleção Zoologia Brasília, v. 2).

SANTOS, E. P. dos. **Dinâmica de Populações aplicada à pesca e piscicultura**. São Paulo: [s.n.], 1978. 129 p.

SANTOS, R. V. R. dos. An individual-based model to simulation of effect of selective fishing on growth traits of the pintado *pseudoplatystoma corruscans*

(spix & agassiz, 1829) (pisces: Pimelodidae). **Ecological Modelling**. Agosto 2010.

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**, v. 27, n. 4, p. 513-521, 2005.

SOUZA, A.; MARTINS, S.; ZACARIAS, M. Computer simulation applied to the biological control of the insect *aphis gossypii* for the parasitoid *lysiphlebus testaceipes*. **Ecological Modelling**, v. 220, p. 756-763, 2009.

SOUZA, A. **Estudo dos efeitos de diferentes estratégias de pesca seletiva e da influência dos níveis hidrológicos sobre a população e pesca de surubim via simulação computacional**. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, 2010.

SPARRE, P.; VENEMA, S. C. **Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais**. Roma, 1997.

TOLEDO, L. R. Novo hóspede nos açudes. **Revista Globo Rural**, p. 55-61, 1991.