

Impacto ecotoxicológico do derramamento de petróleo, em São Sebastião, São Paulo sobre as taxas vitais de população do anfípode *Jassa slatteryi*

Maurea Nicoletti Flynn

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, mestrado e doutorado em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo e pós-doutorado em ecologia aplicada e experimental pelo programa recém doutor do CNPq, Universidade de São Paulo. Foi coordenador do Curso de Engenharia Ambiental das Faculdades Oswaldo Cruz e Coordenadora de Pesquisas na Escola Superior de Química das Faculdades Oswaldo Cruz. Professor adjunto do curso de graduação em Ciências Biológicas e de pós-graduação em Biodiversidade da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência nas áreas de Ecologia Bêntica, Ecologia Experimental, Dinâmica Populacional e Biodiversidade da Ambientes Aquáticos. Especialista em auditoria ambiental (Certificado EARA - Environmental Auditors Registration Association). E-mail: maureaflynn@gmail.com

Maria Teresa Valério-Berardo

Possui graduação em Instituto de Biociências pela Universidade de São Paulo, mestrado e doutorado em Oceanografia (Oceanografia Biológica) pela Universidade de São Paulo. Professor Titular da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Revisor de vários periódicos como a Nauplius, Iheringia, Série Zoologia, Revista Biota Neotropica, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia de Ecossistemas. Atuando principalmente nos seguintes temas: Amphipoda Ecologia Bentônica Ubatuba. E-mail: mariateresa_berardo@yahoo.com.br

William Roberto Luiz Pereira

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Especialista em Biomatemática. Tem interesse na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia Teórica, Dinâmica Populacional e índices biológicos, tendo preferência aos seguintes temas: Alometria, Modelos Matemáticos Aplicados a Ecologia, Ecotoxicologia. Consultor do Instituto Inteligência para Sustentabilidade – I2S. E-mail: william_roberto_luiz@hotmail.com

A estrutura por classe de tamanho, a oscilação em densidade, a razão sexual, a curva de sobrevivência, o potencial reprodutivo, o tempo de geração, a capacidade suporte do ambiente e a taxa de crescimento intrínseco per capita foram taxas vitais estabelecidas para uma população de *Jassa slatteryi* associada a placas de substrato artificial. Estas foram amostradas mensalmente de março de 1997 a janeiro de 2003 para o programa de monitoramento do Terminal Petrolífero de São Sebastião. Ocorreram dois picos reprodutivos, um menor em maio e outro contínuo ao longo dos meses mais quentes do ano, de outubro a março, acarretando uma sobreposição de gerações. Razão sexual média de 0.32, favorável às fêmeas, foi registrada, um padrão freqüente em organismos epifaunais. *J. slatteryi* parece ser r-estrategista com fêmeas iteroparas e ciclo multivoltínico. O potencial reprodutivo médio estimado foi de 9,9214. A estratégia reprodutiva, de produção de ovos menores e diminuição do tamanho da fêmea madura, está relacionada ao habitat costeiro de maior instabilidade. A capacidade suporte do ambiente para a espécie antes do impacto era de 5000 indivíduos por placa e após o derramamento de 1500, atingida após um extenso período com ausência do organismo. A oscilação em densidade populacional, o tempo de retorno desta e a diminuição da capacidade de suporte do meio demonstraram claramente a importância do derramamento em termos do impacto causado pelo acidente com o navio petroleiro NT “Vergina II” em novembro de 2000. O conhecimento da dinâmica populacional de espécies marinhas costeiras em placas de toxicidade *in situ* constitui uma ferramenta valiosa para se dimensionar impactos ambientais ocasionados por derramamentos de petróleo.

Palavras-chave: Derramamento de Óleo. Dinâmica Populacional. Amphipoda.

The size-class structure, density trends, sex-ratio, survivorship curve, net reproductive rate, generation time and per capita rate of population growth were established for a population of *Jassa slatteryi* from experimental plates placed at an oil terminal of Petrobras at São Sebastião Channel, Southeastern Brazil as part of a monitoring program to assess oil impact in the marine ecosystem. Monthly samples, from March 1997 to January 2003, were taken. There were two reproductive peaks one smaller in May and another one throughout the warmer months from October to March imposing, with the continual reproduction, the overlapping of generations. A sex ratio biased in favor of females was recorded in all sampling dates. *J. slatteryi* appears to be r strategist, with iteroparous females and multivoltine cycle. For stabilized populations of experimental panels the reproductive rate estimated was 9.214. The carrying capacity of the panels (30 x 30 cm) for the species before impact was around 5000 individuals and after the spill, 1500 individuals, attained after a long period with no individuals. Population densities oscillation, returning time and carrying capacity decrease were a clear indication of the Virginia II spill impact in November 2000. The knowledge of the population dynamics of *Jassa slatteryi* constitutes an important tool to assess ecological damage caused by hydrocarbons in the coastal area.

Keywords: Oil spill. Population dynamics. Amphipoda.

INTRODUÇÃO

O ambiente marinho constitui um complexo ecossistema exposto cada vez mais à influência de uma série de fatores ambientais de natureza antropogênica. O aporte cada vez maior de contaminantes de naturezas diversas faz com que haja crescente necessidade de estudos sobre o acúmulo e os efeitos de contaminantes sobre os organismos marinhos principalmente costeiros (Lima,

1998). A dinâmica populacional de espécies costeiras constitui uma ferramenta importante na avaliação de risco ecológico.

O monitoramento biológico é um elemento essencial para se assegurar a integridade do ecossistema, já que os organismos funcionam como uma base sensorial que reage a qualquer stress que afeta o sistema onde estão inseridos (Loeb 1994). Alguns requisitos são necessários na determinação de um indicador biológico, devem ser comuns, de fácil identificação e sedentários (Plafkin et al. 1989). Taxas vitais de populações de indicadores podem ser usadas como endpoints na avaliação do risco ecotoxicológico introduzido pelo contaminante. Para isso, é necessário o conhecimento da biologia reprodutiva e dinâmica populacional das espécies utilizadas (Flynn *et al.* 2005). A dinâmica populacional de *J. slatteryi* vem sendo usada no programa de monitoramento do terminal petrolífero da Petrobrás no Canal de São Sebastião (Flynn *et al.* 2005, 2007). Este envolve o uso de substrato artificial funcionando como ensaio de toxicidade local. As placas fundeadas e avaliadas ao fim de certos períodos de imersão servem para verificar o padrão temporal de recrutamento larval e o subsequente desenvolvimento da população de *J. slatteryi*.

A região de São Sebastião é sujeita a uma severa poluição marinha causada por derramamentos de óleo. O derramamento ocorrido no dia 04 de Novembro de 2000, quando o navio petroleiro NT “Vergina II”, de bandeira cipriota, procedente da Bacia de Campos (RJ), colidiu com o píer sul do Terminal Almirante Barroso da PETROBRAS, em São Sebastião, acarretou no vazamento de aproximadamente 86000L de petróleo, tipo Albacora (CETESB, 2001). Equipes da PETROBRAS/CEMPOL – Centro Modelo de Prevenção, Controle e Combate a Poluição por Óleo no Mar, iniciaram imediatamente as operações emergenciais com a colocação de barreiras de contenção e recolhimento do óleo vazado, que perduraram até o dia 7 de Novembro (Lopes *et al.* 2001).

O objetivo deste trabalho é selecionar taxas vitais da população de *J. slatteryi* tais como estrutura por classe de tamanho, razão sexual, curva de sobrevivência, potencial reprodutivo, tempo de geração, capacidade suporte do ambiente e taxa de crescimento intrínseco per capita como potenciais endpoints

Metodologia

Foram implantadas três estações para instalação de placas de toxicidade *in situ* no terminal petrolífero (figura 1). Em cada uma das três estações estabelecidas foram fundeadas linhas de placas experimentais de plástico branco, com dimensão 30 X 30 cm, cerca de 1 metro abaixo do nível do mar (figura 2). Segue a descrição das estações:

Estação Sul: a cerca de 500 m do orifício mais ao sul do difusor 1 do emissário submarino, nas coordenadas 23°48,7'S e 45°23,3'W.

Estação Centro: em frente aos difusores 1 e 2 do emissário submarino, nas coordenadas 23°48,35'S e 45°23,1'W.

Estação Norte: a cerca de 500 m do orifício mais ao norte do difusor 2 do emissário submarino, nas coordenadas 23°48,1'S e 45°22,9'W.

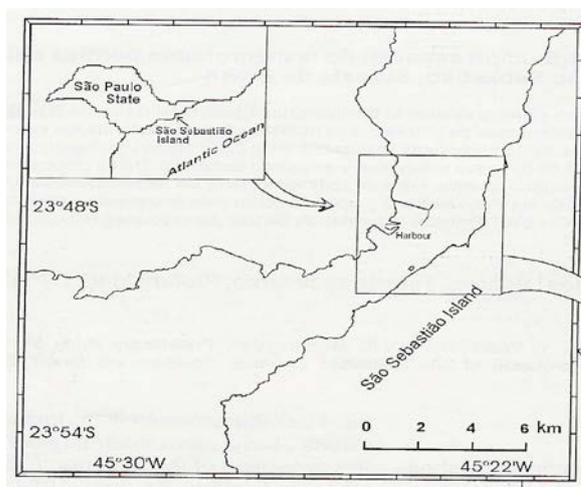


Figura 1. Mapa da região



Figura 2. Placas experimentais

As estações foram visitadas regularmente de 1997 a 2003. As placas de cada estação tiveram seus dois lados fotografados; e, em seguida uma amostra de 150 cm² era retirada de um dos lados da placa, sendo as placas fundeadas novamente; todo o material colocado em recipientes com solução de formol a 4 % para transporte ao laboratório, sendo então transferido para álcool 70% neutralizado. A análise dos organismos coletados em cada painel foi realizada sob lupa. Uma subamostra foi retirada, correspondendo a 10% do volume total

de cada amostra, para a contagem de organismos da espécie *J. slaterryi*. Além de contados, estes foram medidos e os sexos identificados. Em anos subseqüentes, somente o total de indivíduos foi contabilizado. O valor obtido foi extrapolado de acordo com o volume total da amostra, obtendo-se a densidade dos mesmos nas referidas placas.

Com esses dados, montou-se um gráfico de flutuação populacional. Estabeleceu-se a capacidade suporte do ambiente para a espécie em placa. Em seguida, calculou-se a razão sexual ou sex-ratio para cada mês. O sex-ratio obtido foi aplicado aos jovens de cada classe etária para estimativa do número de fêmeas. Com a soma das fêmeas jovens e adultas de cada classe, calculou-se o N_x para inserção na Tabela de Vida. Foram calculados os parâmetros:

Taxa de sobrevivência (l_x), o número de fêmeas de cada classe de comprimento x dividido pelo número de fêmeas na classe inicial:

$$l_x = N_x / N_0 \quad (1)$$

Fecundidade (m_x) foi obtida da função-potência (Franz, 1988), que relaciona o tamanho corporal da fêmea (mm) e o tamanho da ninhada, baseado em dados obtidos em todas as estações do ano:

$$NE = 0,11 \times L_{(mm)}^{3,25} \quad (2)$$

Potencial reprodutivo (R_0) foi calculado pelo somatório do produto $l_x m_x$ de cada classe de comprimento, expressa pela equação:

$$R_0 = \sum l_x m_x \quad (3)$$

Tempo de geração (T) foi estimado pela soma total de $l_x m_x x$ dividido pelo potencial reprodutivo:

$$T = \sum l_x m_x x / \sum l_x m_x \quad (4)$$

A taxa intrínseca de crescimento foi obtida pela aproximação:

$$r \approx \ln(R_0) / T \quad (5)$$

Para quantificar a aleatoriedade ambiental foi considerada a seguinte relação:

$$\sigma_r^2 > 2 r_{\text{médio}} \quad (6)$$

Com os dados obtidos foram feitas as totalizações dos organismos coletados em cada painel (Tabela 1) com os indivíduos encontrados em cada mês de coleta, divididos em machos, fêmeas, jovens e totais, no período de março de 1997 a março de 1998. A tabela também apresenta as coletas realizadas trimestralmente durante o período do derramamento, sendo analisado somente o número total de indivíduos. É possível observar também o período pós – impacto, de setembro de 2002 a janeiro de 2003, no qual as amostras foram coletadas mensalmente e quantificado somente o número total de indivíduos.

Tabela 1: Distribuição de indivíduos de *Jassa slatteryi* por categoria do período de Março de 1997 a Janeiro de 2003.

Meses	Macho	Fêmea	Jovens	Total
mar/97	115	210	1053	1378
abr/97	137	284	1762	2183
mai/97	589	2691	2001	5281
jun/97	127	356	798	1281
jul/97	75	392	1022	1489
ago/97	161	231	295	687
set/97	151	531	1560	2242
out/97	132	410	3078	3620
nov/97	70	410	3078	3558
dez/97	310	1331	3170	4811
jan/98	210	1766	3046	5022
fev/98	383	1519	2695	4597
mar/98	333	1491	3219	5043
<hr/>				
out/00				750
jan/01				0
mai/01				0
ago/01				90
nov/01				10
<hr/>				
set/02				410
out/02				2060
nov/02				1130
dez/02				780
jan/03				1210

A variação temporal da população de *J. slatteryi* no período de

ARTIGO ORIGINAL

coleta mostra as oscilações (período de 97 a 98) decorrentes de épocas reprodutivas (figura 3), quando apresenta maiores densidades, coincidentes com o veranico de maio e o verão. O mesmo padrão foi observado para os jovens, as fêmeas e os machos.

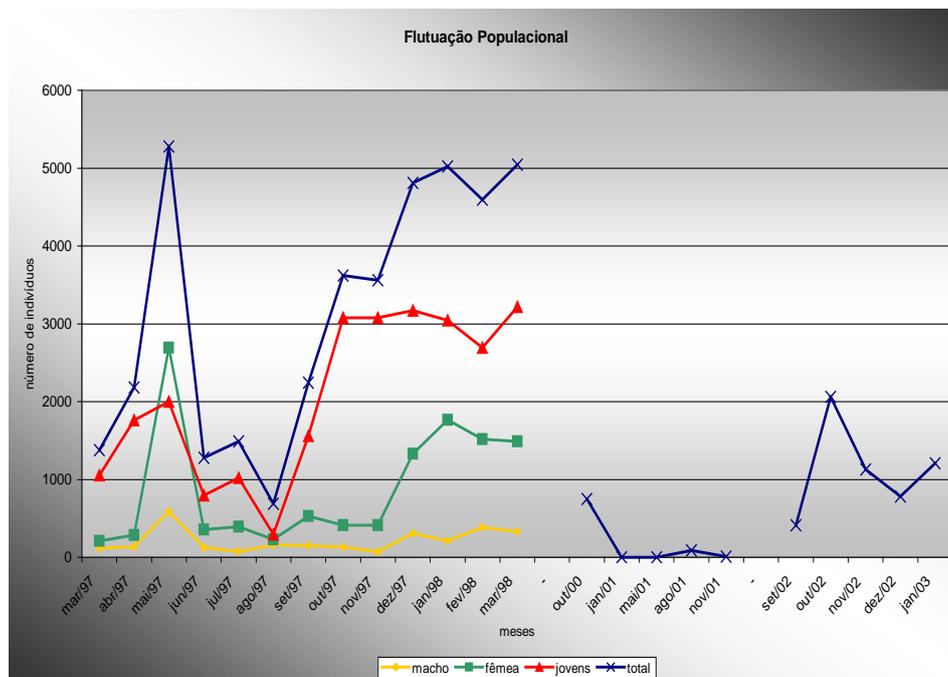


Figura 3. Flutuação populacional de *Jassa slatteryi*.

Machos e fêmeas apresentaram comprimentos variando entre 2 e 7 mm. A razão sexual foi ao longo de período estudado sempre favorável as fêmeas. Os valores médios calculados do potencial reprodutivo (R_0) foi de 9,9214, o tempo de geração (t) foi calculado em 3,7377805 e da taxa de crescimento intrínseco (r) em 0,6139179 (tabela II).

Tabela II - TABELA DE VIDA MÉDIA						
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

FLYNN, Maurea Nicoletti; VALÉRIO-BERARDO, Maria Teresa; PEREIRA, William Roberto Luiz Silva. Impacto ecotoxicológico do derramamento de petróleo em São Sebastião, São Paulo, sobre as taxas vitais de população do anfípode *Jassa Slatteryi*. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 3, p. 65-78, out. 2011.

	Machos	Fêmeas	Jovens	Sex Ratio					
Comprimento	(média)	(média)	(média)	(médio)	lx	mx	Ro	T	r
1-2			359,75	0,3153	1,0000	0,5783	9,9214	3,7377805	0,6139179
2-3	10	19,666667	1350,6923		0,8981	2,4776			
3-4	12,6	370,08333	391		0,5081	6,9324			
4-5	72,461538	430,30769	88		0,2594	15,2586			
5-6	87,538462	133,1			0,0741	28,8737			
6-7	71,111111	65,666667			0,0245	49,2786			
Total	253,71111	1018,8244	2189,4423			103,40			

As curvas de sobrevivência variaram mensalmente apresentando configurações entre tipo I e II, com baixa mortalidade em classes de menor tamanho. A mortalidade aumenta nas classes de tamanho 4/5 mm (figura 4).

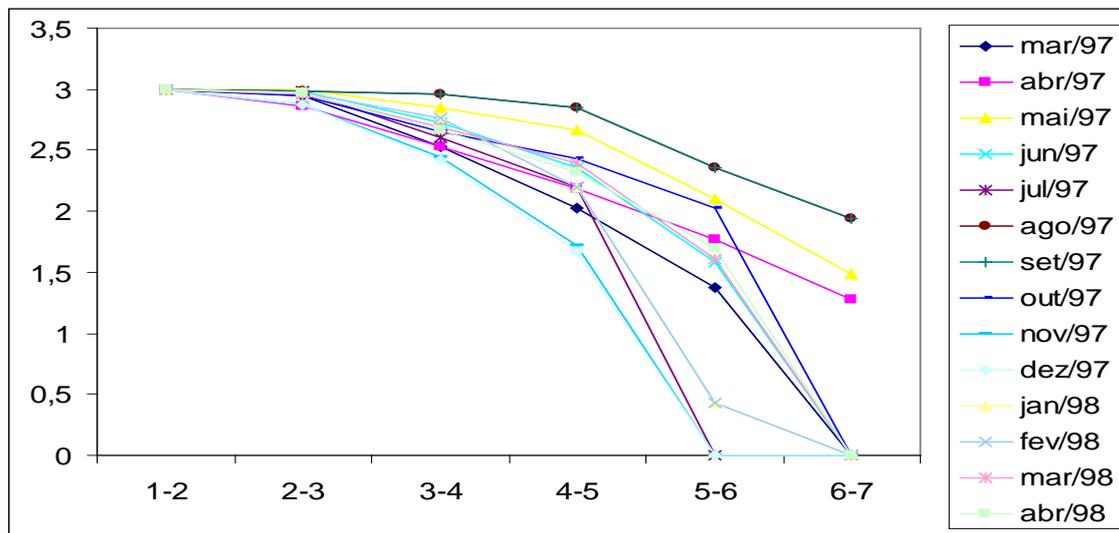


Figura 4. Curvas de sobrevivência mensais para o período de março de 1997 a março de 1998.

O tamanho da ninhada aumenta com o aumento do corpo da fêmea (figura 5)

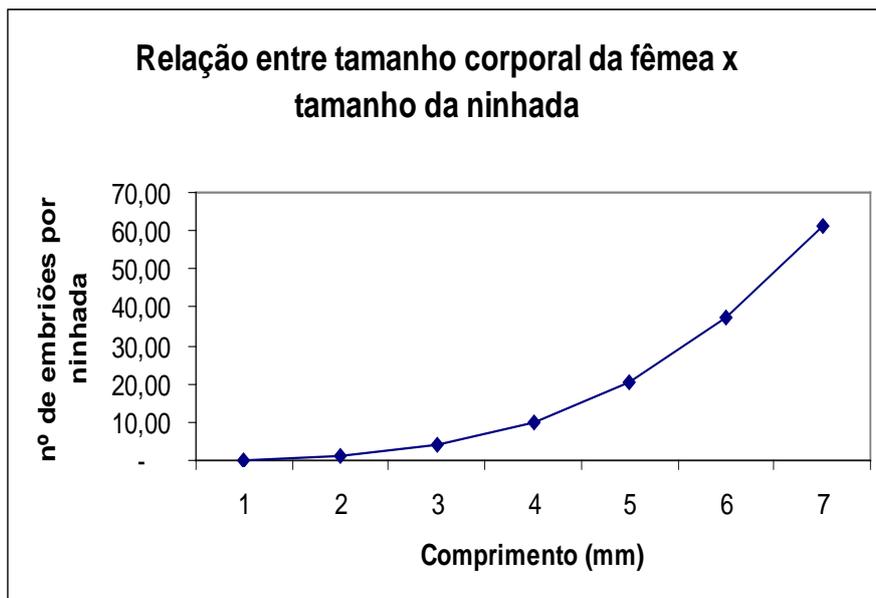


Figura 5. Relação entre o numero de embriões e o comprimento do corpo da fêmea.

A variância da densidade populacional aumenta com o aumento do tempo de previsão, entretanto não atinge o dobro do valor da taxa de crescimento intrínseco. O grau de incerteza na previsão do tamanho populacional aumenta com o tempo medido em números de gerações (figura 6).

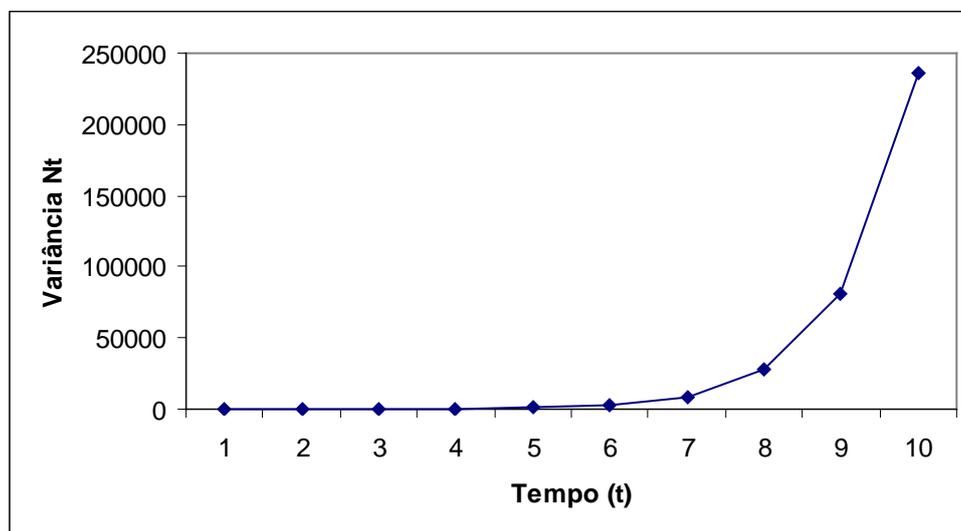


Figura 6. Relação entre a variância da densidade populacional e o tempo.

A curva logística representando hipoteticamente o crescimento em cada uma das situações pré - impacto, no momento do impacto e pós - impacto para cada período amostrado está graficamente representada com as capacidades

suportes (K), nos valores de 5000, 0 e 1500 respectivamente. Cada curva apresentou um comportamento peculiar (figura 7).

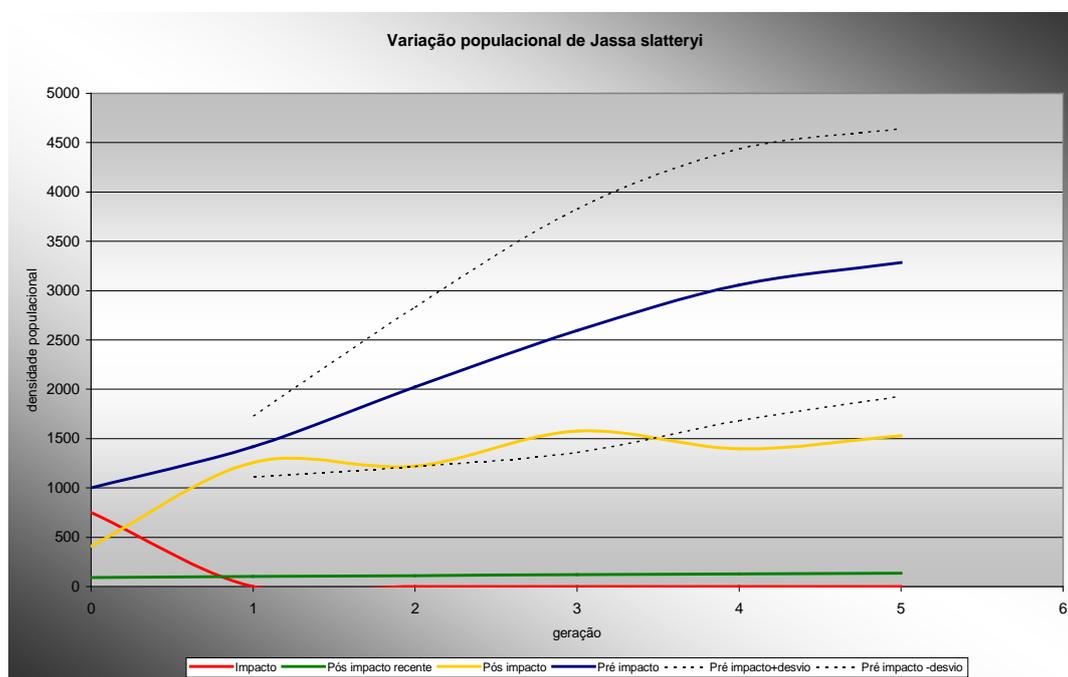


Figura 7. Curva logística de crescimento calculada para os períodos pré-impacto (azul), impacto (vermelha) e pós-impacto (verde).

Discussão

O padrão populacional apresentado por *Jassa slatteryi* é consistente com o comportamento oportunístico de espécies costeiras em ambientes fisicamente controlados segundo a teoria da estabilidade-tempo de Sanders (1969). O ambiente portuário costeiro permite a instalação de espécies com estratégias adaptativas como reprodução contínua e sobreposição de gerações, (van Dolah & Bird 1980; Martin-Smith 1994). Os dados mostram flutuações naturais na densidade populacional indicativos de intensa reprodução associada à alta incidência de fêmeas em maio, dezembro e janeiro. A razão sexual favorecendo fêmeas também é uma característica comum em populações de anfípodes (Hasting 1981; Dauvin 1988; Valério-Berardo & Flynn 2002).

Parâmetros como tempo de geração, fecundidade e taxa de sobrevivência dão indícios da estratégia de vida utilizada por uma espécie (Valerio-Berardo & Flynn 2004). *J. slatteryi* é considerada como r-estrategista

por minimizar o tempo de geração e aumentar o potencial reprodutivo de maneira que a taxa de crescimento intrínseco (r) seja maximizada (May, 1976). A curva de sobrevivência é consistente com alta sobrevivência de indivíduos sexualmente maduros, seguida por uma acentuada senescência nos adultos mais velhos.

Populações em ambientes fisicamente controlados podem apresentar valores para a taxa intrínseca de crescimento independente da densidade, o que significa que o crescimento populacional não está diretamente correlacionado com as taxas de natalidade e mortalidade, mas sim com o ambiente instável ou com a estocasticidade ambiental (Lewontin 1969). Para a população de *J. slatteryi* a variância de r não ultrapassou o dobro da média, sugerindo que não há chances de extinções locais devido à estocasticidade ambiental, e de fato não houve previsão de extinções durante o período pré-impacto. Em outra espécie costeira, *Hyale nigra*, com comportamento reprodutivo muito semelhante, houve ocorrência e projeção de extinção freqüentes (Flynn *et al.*, 2008), sendo a variância neste caso bastante superior a 2 vezes a média de r . As extinções freqüentes podem então estar associadas à alta estocasticidade ambiental.

A previsão do comportamento da população analisada como ferramenta para indicação de alterações ambientais perde precisão com a incerteza associada ao avanço no tempo. Depois da sétima geração ocorre um aumento exponencial da variância, o que significa que não é possível prever o crescimento da população ao longo do ano através de r quando se prevê a longo tempo. Em curto prazo, a partir de uma população inicial é possível avaliar impactos ambientais ao se distanciar de crescimento populacional previsto em modelos, desde que a variância seja relativamente baixa.

As oscilações de densidade e alterações na capacidade suporte do ambiente foram importantes na identificação do impacto ocasionado pelo derramamento de petróleo. A curva de variação temporal de densidade de *J. slatteryi* referente ao período de pré-impacto (Março de 1997 a Março de 1998) retrata alterações significativas em relação às curvas do período imediatamente posterior ao impacto (Outubro de 2000 a Novembro de 2001) e ao período de recuperação pós – impacto (Setembro de 2002 a Janeiro de 2003). Comparando-se estas curvas,

observa-se que a população atinge um equilíbrio após dois anos do impacto, mas apresentando menor densidade, o que sugere que a capacidade suporte do ambiente para a *J. slatteryi* não se restabeleceu.

REFERÊNCIAS

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Operação Vergina II. São Paulo: CETESB, 2001.

DAUVIN, J. C. Biologie, dynamique et production de populations de crustacés amphipodes de la Manche occidentale.1. *Ampelisca tenuicornis* Liljeborg. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 118, p. 55-84, 1988.

FLYNN, M. N. et al. Ensaio de toxicidade in situ para monitoramento da qualidade da água junto ao pier do terminal aquaviário de São Sebastião, São Paulo. In: PROCEEDINGS OF THE GLOBAL CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, Bertioiga, 2005, p. 1730-1734, 2005.

FLYNN, M.N. et al. Population dynamics of *Hyale nigra* associated to *Bryocladia thyrsgera* at Peruibe, Itanhaém beach, southeastern Brazil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE BIOLOGIA MATEMÁTICA XIV CLAB IX ELAEM, 14., 2007, Campinas: UNICAMP, 2007.

HASTINGS, M. H. The life cycle and productivity of an intertidal populations of the amphipod *Ampelisca brevicornis*. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 12, p. 665-677, 1981.

LEWONTIN, R. C; COHEN, D.. On population growth in a randomly varying enviroment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 62, n. 4, p. 1056-1060, 1969.

LIMA, G. M. S. Efeitos do efluente do emissário submarino de São Sebastião-São Paulo, sobre o fitoplâncton marinho: estudo de campo e de laboratório. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 1998, 160p.

LOEB, S. L.; SPACIE, A. **Biological monitoring of aquatic systems**. Florida: CRC Press LLC Lewis Publishers, 1994, 400 p.

FLYNN, Maurea Nicoletti; VALÉRIO-BERARDO, Maria Teresa; PEREIRA, William Roberto Luiz Silva. Impacto ecotoxicológico do derramamento de petróleo em São Sebastião, São Paulo, sobre as taxas vitais de população do anfípode *Jassa Slaterryi*. **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 3, p. 65-78, out. 2011.

MARTIN-SMITH, K. M. Short-term dynamics of tropical macroalgal epifauna: patterns and process in recolonization of *Sargassum fissifolium*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 110, p. 177-185, 1994.

MAY, R.M. Estimating r: a pedagogical note. **American Naturalist**, v. 110, p. 496-499, 1976.

PLAFKIN, J. L. et al. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish**. Washington, D.C: U.S.P.A Environmental Protection Agency, 1989.

SANDERS, H.L. Benthic marine diversity and the stability-time hypothesis. **Brook haven Symposium of Biology**, v, 22, p. 71-81, 1969.

VALÉRIO-BERARDO, M. T.; FLYNN, M. N. Composition and seasonality of an amphipod community associated to the algae *Bryocladia thyrsgera*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n .4A, p. 735- 742, 2002.

VALÉRIO-BERARDO, M. T; FLYNN, M. N. Population biology of *Hyale nigra* (Haswell, 1879) (amphipoda, Hyalidae) associated to *Bryocladia thyrsgera* (J. Agardh) at Peruibe, Itanhaém beach, southeastern Brazil. **Nauplius**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2004.

VAN DOLAH, R. F; BIRD, E. A comparison of reproductive patterns in epifaunal and infaunal gammaridean amphipods. **Estuaries Coastal Marine Science**, v. 2. p. 583- 604, 1980.