

SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DO PACU *Piaractus mesopotamicus* EM VIVEIROS DE PISCICULTURA

ANGELINI, R. & PETRERE JR., M.

Departamento de Ecologia - UNESP - Rio Claro/SP

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo de produção do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) como ferramenta de estudo e previsão para o manejo deste peixe em piscicultura. O modelo é caracterizado como um simples fluxo de biomassa: a biomassa entra no sistema via ração (variável fonte) que é ingerida pelos pacus (variável estado) que por sua vez são pescados. A biomassa abandona o sistema através da respiração e da excreção dos peixes (variáveis perdas). As variáveis que influenciam neste fluxo de biomassa são: a temperatura da água, o peso inicial dos pacus, as datas de início e fim de estocagem, o número de pacus e a eficiência de assimilação. O aumento da biomassa dos peixes mostrou-se mais sensível a mudanças nas seguintes variáveis: eficiência de assimilação e temperatura da água. Para a simulação do modelo foi desenvolvido o programa PACU em TURBO PASCAL 5.0.

ABSTRACT

Production simulation of pacu *Piaractus mesopotamicus* in fish culture ponds

In this paper a model for rearing the pacu (*Piaractus mesopotamicus*) was discussed. The model is a simple flux biomass; the biomass is input in the system via ration, which is the source variable ingested by the pacus are the state variable. The biomass leaves the system through respiration and excretion by fish. Respiration and excretion are the sink variable. The variables which affect the biomass flux are: water temperature, initial weight of the pacus, the beginning and ending of stocking, the number of pacus and their food assimilation efficiency. A sensitivity analysis showed that the fish biomass increasing is more related to: assimilation efficiency and water temperature. The results found here are very close to the experiment performed elsewhere. The program PACU in TURBO PASCAL 5.0 for the simulations was developed.

INTRODUÇÃO

A piscicultura é um dos ramos da Zootecnia, praticada há mais de dois mil anos pelos chineses. Segundo Chacon (1988), em terras que não são adequadas para a agricultura, pode-se implantar a criação de peixes.

Cuenco *et al.* (1985) alertam para o fato que muitas pesquisas foram realizadas nas duas últimas décadas com o objetivo de auxiliar a piscicultura. Porém pouco esforço foi realizado com a finalidade de se integrar as informações fisiológicas e ambientais. Uma das formas para se realizar a integração destas informações é a análise de sistemas, que consiste na aplicação de métodos quantitativos envolvendo problemas de sistemas complexos. Desta forma um sistema pode ser visto como um grupo de partes que interagem de acordo com algum tipo de processo (Odum, 1985).

A ferramenta mais utilizada para compreender o sistema é o modelo matemático que nos auxilia na definição dos problemas, na organização das idéias, no entendimento dos dados e na previsão de resultados (Starfield & Bleloch, 1986).

O modelo descrito neste trabalho é uma tentativa de mostrar o funcionamento da piscicultura intensiva do pacu a fim de oferecer ao criador, estratégias mais apropriadas para que este possa otimizar sua produção. Este modelo é uma adaptação do modelo de Grant (1986).

Para simulação do modelo foi desenvolvido, em TURBO PASCAL 5.0, o programa PACU que faz a simulação de acordo com os dados de entrada, digitados pelo usuário.

MATERIAL E MÉTODOS

O crescimento dos peixes é um processo complexo que pode variar muito entre as espécies e até mesmo entre diferentes populações da mesma espécie. Este último fenômeno ocorre devido às populações viverem em ambientes distintos. Segundo Cuenco *et al.* (1985), num modelo de crescimento de peixes, as variáveis mais influentes são o tipo de alimentação e as mudanças de temperatura a que as espécies são submetidas. Na Fig. 1, pode-se visualizar o diagrama do modelo PACU. As transferências que o modelo contém são determinadas das seguintes formas:

Consumo dos peixes

É determinado pela seguinte taxa de transferência de material:
Ração -----> Pacu

É função da: temperatura da água (D1), número inicial de pacus (D2), peso inicial (D3), data de estocagem (D5), peso médio individual (A1), quantidade de ração (SO1) e biomassa dos peixes (S1).

$$T_{SO1-S1} = (D1, D2, D3, D5, A1, SO1, S1)$$

Para determinar esta taxa de transferência foi realizado um experimento no CEPTA - Pirassununga (SP), Angelini *et al.* (1993a). O experimento mostrou ser possível avaliar o consumo dos peixes através de duas regressões lineares:

$$T_{SO1-S1} = \text{CONSUMO/PESO} = -0,124335 + 0,007658 \text{ TEMPERATURA}$$

com $r^2=0,558$ e $F_{2,9}=11,36$ $n=11$, para peixes menores que 90g e

$$\text{CONSUMO/PESO} = -0,019504 + 0,001239 \text{ TEMPERATURA}$$

$r^2=0,193$ e $F_{2,39}=8,6$ $n=41$, para peixes maiores que 90g.

Dividiu-se o consumo dos peixes pelos seus próprios pesos pois é sabido que o consumo individual de um animal varia com seu peso. Um animal maior, tem consumo mais baixo, em relação ao seu peso, comparado a um animal menor.

A diferença entre as duas equações mostra que, em média, o consumo dos indivíduos menores que 90g é 17% maior que os indivíduos maiores.

Pesca

Em piscicultura, a biomassa dos peixes é capturada em sua totalidade num só dia, isto é, no último dia de simulação. Assim:

Pacu -----> Pacu pescado

Função da data de pesca (D4) e da biomassa do pacu (S1).

$$T_{S1-S2} = f(D4, S1)$$

Respiração

Pacu ----- > Respiração (S1)

Função da temperatura (D1), peso médio individual (A1) e biomassa total (S1).

$$T_{S1-S11} = f(D1, A1, S1)$$

Esta transferência pode ser calculada por uma fórmula geral empírica:

$$T_{S1-S11} = 0,0142 A1^{-0,2} e^{0,07 TEMP} 0,0816 S1$$

Excreção

Pacu -----> Excreção (S12)

Esta transferência de material está baseada na taxa de consumo dos peixes (T_{S01-S1}) e na eficiência de assimilação (D6), que por sua vez varia de 0 a 1.

$$T_{S1-S12} = f(T_{S01-S1}, D6)$$

-Assim a equação fica:

$$T_{S1-S12} = D6 T_{S01-S1}$$

Modelo estocástico

Até agora só tratamos das equações de forma determinística. Os modelos estocásticos são elaborados com o objetivo de se aleatorizar os resultados, pois em Ecologia é de se esperar que os resultados variem ao acaso. A técnica empregada para esta aleatorização foi a descrita por Grant (1986), utilizando-se o desvio padrão dos resíduos da regressão.

Unidade básica de tempo

A unidade básica de tempo deste modelo é o dia, que satisfaz as questões de nosso interesse e representa apropriadamente as mudanças nas taxas que ocorrem neste sistema.

Equação da variável de estado

O peso individual dos peixes varia da seguinte forma:

$$A1_{t+1} = T_{S01-S1} - (T_{S1-S11} + T_{S1-S12})$$

onde: $A1_{t+1}$ = peso individual no tempo $t+1$

T_{S01-S1} = transferência de consumo no tempo t

T_{S1-S11} = transferência de respiração no tempo t

T_{S1-S12} = transferência de excreção no tempo t .

Validação do modelo

A fim de confirmar se o modelo é adequado para satisfazer os objetivos propostos, foi realizada uma análise de sensibilidade com todas as variáveis e calibrou-se o modelo com base no experimento de Torloni *et al.* (1991), desenvolvido na Fazenda Cacáu-Açu, município de Pariquera-Açu (SP), no período de março de 1989 a junho de 1990, com pacus nas seguintes condições e resultados: 1 pacu/m²; peso médio inicial de 12,4g; ração com 22% de proteína bruta e 2.787kcal/kg; médias das temperaturas mínima e máxima de 18,5°C e 30°C; 447 dias de criação; peso médio final de 1.095,0g; conversão alimentar 5,4:1; eficiência de 0,185; ganho de peso igual a 2,34g/dia.

RESULTADOS

Temperatura da água (D1)

Foram utilizados os dados do ano de 1988 (Tabela I), coletados num tanque de 1.000m² e 1,5m de profundidade, escavado em terreno natural. Como a piscicultura do pacu é realizada durante um ano e meio, estes dados foram submetidos ao modelo de Regressão Periódica (Angelini *et al.*, 1993b), para que se pudesse fazer uma previsão para mais seis meses.

A Fig. 2 mostra a diferença entre as curvas observada e esperada calculada pela seguinte equação da regressão periódica:

$$\text{TEMP} = 23,005 + 4,479 \cos(2\pi t/K) + 3,113 \sin(2\pi t/K) \\ - 1,244 \cos(4\pi t/K) - 0,548 \sin(4\pi t/K)$$

onde:

K = nº de meses

t = nº do mês desejado para estimativa

Mantendo as outras variáveis fixas e alterando-se apenas a temperatura, obteve-se a Tabela II.

Peso inicial (D2)

A Fig. 3 mostra os resultados do modelo PACU, quando apenas o peso inicial é alterado. Nota-se que o peso inicial tem pouca "sensibilidade", pois, uma mudança no peso inicial não causa uma mudança, na mesma proporção, no peso final. Assim um peixe de 0,05kg estará pesando no final 1,07kg, ganho de peso de 1,02kg. Já um peixe com peso inicial de 0,09kg estará no final com 1,07kg, isto é, um ganho de 0,98kg.

Data de início de estocagem (D3)

Normalmente a data de estocagem do *Piaractus mesopotamicus* é no início de dezembro. Porém, mudando-se esta data inicial e usando-se os dados de temperatura de 1988, encontram-se os dados da Tabela III, onde nota-se que os resultados são semelhantes.

Data de pesca (D4)

Iniciando-se a estocagem de pacus no dia 1º de dezembro e alterando-se as datas de estocagem, obtém-se os resultados mostrados na Fig. 4.

Número de pacus (D5)

Alterando-se os valores do número de pacus e simulando-se durante 540 dias, constata-se que um aumento no número de pacus causa uma diminuição no peso individual, mas um aumento na biomassa total (Fig. 5).

Eficiência de assimilação (D6)

Alterando-se a eficiência de assimilação e mantendo-se constante os outros parâmetros (447 dias de estocagem) obtém-se a Tabela IV.

DISCUSSÃO

A Tabela II mostra que, segundo o modelo proposto, (a) se os peixes fossem colocados num tanque onde a temperatura da água se mantivesse em 24,0°C, o peso destes peixes seria o mesmo para o tanque modelado e que prevê a variação de temperatura, (b) se o tanque tivesse uma temperatura da água de 29,7°C durante todo o período de criação, os peixes estariam no final com um ganho de 800g a mais que o normal. Porém deve-se tomar cuidado com este resultado, pois é sabido que a temperatura ótima para o consumo do pacu varia entre 25,0°C e 27,0°C, (c) por sua vez, se o tanque tivesse a temperatura da água de 16,2°C o pacu emagreceria, ficando com apenas 7g. Isto demonstra que em ambientes frios é totalmente inviável a criação deste peixe em viveiros de piscicultura.

A Fig. 3 mostra que o aumento do peso inicial influencia pouco no peso final. Desta forma seria mais lucrativo ao produtor iniciar a criação com pesos menores que 0,05kg, porém abaixo deste peso pode ocorrer o fenômeno da mortalidade (os peixes ainda estão muito pequenos).

Observa-se na Tabela III que, em 360 dias de estocagem, a data inicial influencia pouco no peso final. Porém é muito interessante observar que iniciando em setembro e mantendo a criação por 270 dias, tem-se praticamente o mesmo valor que com 360 dias de estocagem para a mesma e para outras datas iniciais. Isto ocorre porque, ao começar em setembro e terminar em maio (270 dias) a criação, o pacu não entra na época fria (junho, julho, agosto), meses em que seu crescimento é nulo ou negativo.

Isto pode ser confirmado na Fig. 4. Nota-se que durante os dias 200 e 290 não há crescimento dos peixes. Estes dias representam, no caso, os meses de junho, julho e agosto (temperaturas baixas). Desta forma, se o criador contentar-se com um peixe de 800g é interessante que ele comece sua criação em setembro, a fim de economizar 3 meses de despesas e trabalho.

No experimento de Torloni *et al.* (1991), o ganho diário de seus peixes foi de 2,34g e a eficiência de assimilação 0,185. Para que no modelo PACU o ganho diário chegasse a este valor, a eficiência de assimilação teria de girar em torno de 0,25 e 0,26. Nota-se na Tabela IV que uma mudança de 0,01 nesta variável, causa uma mudança de

pelo menos 35g no peso final, ou seja, a sensibilidade do modelo em relação a esta variável é muito alta.

Através da Fig. 5, observa-se que um aumento no número de pacus faz com que o peso final individual diminua, mas a biomassa total aumente. Assim, se o produtor quiser peixes maiores que 1,4kg ele deverá colocar em um viveiro com área de 1.000m², no máximo 200 peixes. Porém se o objetivo do criador não é o tamanho individual dos peixes ele deve aumentar o número destes para ter uma biomassa final maior. Mesmo assim é recomendado que não se faça uso deste modelo para estoques com mais de 1.200 peixes, pois a partir deste número a densidade aumenta muito e pode começar ocorrer mortalidades, variável que não foi adotada no modelo.

CONCLUSÃO

As propriedades gerais do modelo são classificadas por Odum (1985) em (i) realismo, (ii) precisão e (iii) generalidade.

Realismo mede o grau de correspondência do modelo com o sistema real. No modelo PACU é evidente que muitas variáveis que estão presentes num sistema de cultivo de peixes, não foram colocadas, como fitoplâncton e zooplâncton, insetos, doenças, oxigênio dissolvido (OD), pH, quantidade de nutrientes, condutividade elétrica e tempo de retenção da água. Assim o modelo foi elaborado visando uma situação ótima para piscicultura: pH entre 7 e 8, OD entre 6ppm e 8ppm, águas isentas de produtos poluentes.

Em linhas gerais o modelo baseia-se em duas variáveis - peso (biótica) e temperatura (abiótica), e em apenas duas equações - a de consumo ($T_{S_{01}-S_1}$) e a de respiração ($T_{S_1-S_{11}}$). A primeira é uma regressão linear simples cujos parâmetros foram encontrados através de um experimento de laboratório. A segunda foi retirada da literatura.

Desta forma o modelo pode parecer frágil e simples. E realmente o é, mas isto não é sinônimo de mediocridade. Hall (1988) chama atenção para uma confusão freqüente entre rigor matemático e rigor científico: o rigor matemático é essencial para certos tipos de modelo, mas é um critério irrelevante para julgar a virtude do modelo com a realidade. Hall & Angelis (1985) afirmam que num modelo de simulação, elegância e generalidade são sacrificadas devido à importância numérica.

Precisão é a capacidade numérica de se prever mudanças. Os resultados finais previstos pelo modelo confirmam a situação real dos criadores. Como pôde ser visto anteriormente, estes resultados também estão próximos dos do experimento de Torloni *et al.* (1991).

Há de se ressaltar que a análise de resíduos para a equação de consumo dos peixes maiores que 90g, mostrou que a variabilidade dos mesmos não é constante (heterocedasticidade). Assim, em detrimento do rigor matemático-estatístico, a equação foi mantida devido a sua precisão numérica.

Generalidade é a amplitude da aplicabilidade do modelo. Jorgensen (1988) recomenda que se evite a utilização de modelos desenvolvidos para condições ambientais diferentes, sendo ideal a elaboração de modelos próprios ajustados a cada realidade.

O modelo proposto é exclusivo para pacus arraçoados. Porém ele pode ser usado para outras espécies, desde que o experimento realizado para encontrar a equação de consumo seja feito com a espécie escolhida. Desta forma a amplitude de aplicabilidade do modelo aumenta.

O modelo PACU poderia ser melhorado se fosse estudada uma fórmula mais específica para a respiração, na equação de consumo fosse colocada a variável oxigênio dissolvido e, por fim, fosse acoplado ao modelo, um sub-modelo econômico, pois Araujo (1989) diz ser notável a resistência dos agricultores tradicionais à piscicultura, exatamente pela fragilidade dos dados de viabilidade técnico-econômica disponíveis pelos serviços de extensão. Desta forma a inclusão de um sub-modelo com variáveis como preço da ração, preço/kg do pacu, custo da mão-de-obra, custo da construção dos viveiros e outras, poderia dar ao empreendedor um grande suporte ao seu planejamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da UNESP, CEPTA/IBAMA e FAPESP (Proc. nº 91/0732-0) pela bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELINI, R., CANTELMO, O.A., PETRERE JR., M. Determinação da taxa de consumo de ração pelo pacu *Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887, com diferentes tamanhos e sob distintas temperaturas. *B. Téc. CEPTA*, v.5, n. único, p.11-22, 1992a.
- ANGELINI, R., LUCAS, A.F.B., PETRERE JR., M. *et al.* Ajuste do modelo de regressão periódica para prever a temperatura média mensal da água em viveiros do CEPTA (Pirassununga, SP Brasil). *B. Téc. CEPTA*, v.5, n. único, p.31-39., 1992b.
- ARAUJO, O.J. Situação do cultivo de *Colossoma* no Brasil. In: HERNÁNDEZ R., A. (ed.) *Cultivo de Colossoma*. Bogotá: Editora Guadalupe, 1989. p.207-222.
- CHACON, J.O. Adaptação de açudes para a piscicultura. In: *Manual sobre manejo de reservatórios para a produção de peixes*. Roma: FAO, 1988. 186p.
- CUENCO, M.L., STICKNEY, R.R., GRANT, W.E. Fish bioenergetics and growth in Aquaculture ponds. I. Effects of temperature. *Ecol. Modelling*, v.28, p.73-95, 1985.
- GRANT, W.E. *Systems analysis and simulation in wildlife and fisheries sciences*. New York: John Wiley, 1986. p.336.
- HALL, C.A.S. An assessment of several of the historically most influential theoretical models used in Ecology and of the data provided in their support. *Ecol. Modelling*, v.43, p.4-31, 1988.
- HALL, C.A.S., ANGELIS, D.L. de. Models in Ecology: Paradigms found or Paradigms lost? *Bull. Ecol. Soc. Am.*, v.66, n.3, p.339-346, 1985.
- JORGENSEN, S.E. Modelling as a tool in environment management of lakes and reservoirs. In: TUNDISI, J.G. (ed.) *Limnologia e Manejo de Represas*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1988. v.I.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Tradução de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1985. p.434.
- STARFIELD, A.M., BLELOCH, *Building models for conservation and wildlife management*. New York: Macmillan Publishing; London: Collier Macmillan Publishers, 1986. p.223.
- TORLONI, C.E.C., REIS, M.A.G., SICILIANO, S.F. *et al.* Análise quantitativa e econômica numa criação de pacu *Colossoma mitrei* (Berg, 1985) em propriedade particular no sudeste do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 9., 1991, Maringá/PR. Programa e Resumos. p.192.

TABELA I - Dados de temperatura (°C) do ano de 1988 do viveiro D3 do CEPTA, que fazem parte do modelo PACU e que foram ajustados à regressão periódica.

Mês	1º período	2º período	3º período
0 - dez.	25,7	27,2	25,0
1 - jan.	26,7	28,4	29,7
2 - fev.	27,9	26,6	28,1
3 - mar.	28,3	27,1	26,1
4 - abr.	26,0	23,6	23,7
5 - maio	22,3	21,4	20,5
6 - jun.	16,2	17,2	17,4
7 - jul.	17,1	16,2	14,3
8 - ago.	16,8	18,4	20,3
9 - set.	21,2	20,2	24,3
10 - out.	23,8	21,8	23,0
11 - nov.	24,2	26,7	25,0
12 - PREV ¹	26,2	26,2	26,2
13 - PREV	27,3	27,3	27,3
14 - PREV	28,1	28,1	28,1
15 - PREV	27,3	27,3	27,3
16 - PREV	24,4	24,4	24,4
17 - PREV	20,3	20,3	20,3

¹Valores previstos para os primeiros meses de 1989

TABELA II - Simulação do Modelo PACU alterando-se apenas a temperatura (°C) e utilizando-se o peso inicial individual (D3), número de pacus (D6), eficiência de assimilação (D7), peso final individual do pacu.

D3 (kg)	D6	D7	Dias	A1 (kg)	Temperatura
0,05	500	0,26	540	1,260	Tabela I ¹
0,05	500	0,26	540	0,007	16,2 ²
0,05	500	0,26	540	2,057	29,7 ²
0,05	500	0,26	540	1,272	24,0 ³

¹Utilizaram-se os valores da Tabela I

²Temperatura mantida constante durante a simulação

Tabela III - Simulação do modelo PACU, alterando-se apenas a data de estocagem.

Início (D3)	DIAS	PESO (A1)
Dezembro	360	0,823
Março	360	0,844
Junho	360	0,841
Setembro	360	0,814
Setembro	270	0,820

Tabela IV - Mudança no peso final (kg) e ganho/dia (g), quando a eficiência de assimilação (D6) é alterada.

D6	Peso (A1)	Ganho/dia
0,20	0,851	1,90
0,23	0,969	2,17
0,25	1,048	2,34
0,26	1,087	2,43
0,28	1,153	2,58
0,30	1,231	2,75

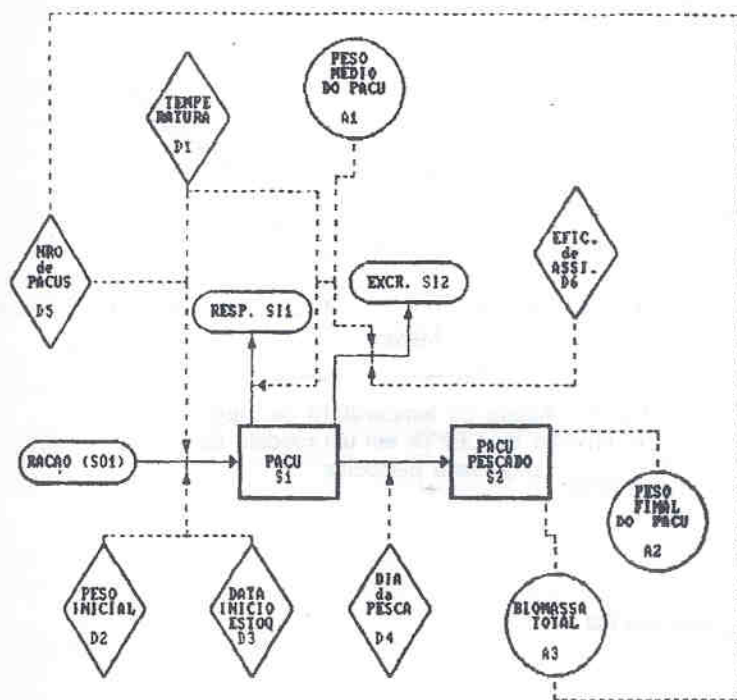


Fig. 1 - Diagrama do modelo PACU, que representa a criação do *Piaractus mesopotamicus* em viveiros de piscicultura. As linhas cheias referem-se a transferências de material, enquanto as linhas tracejadas, a transferências de informação.

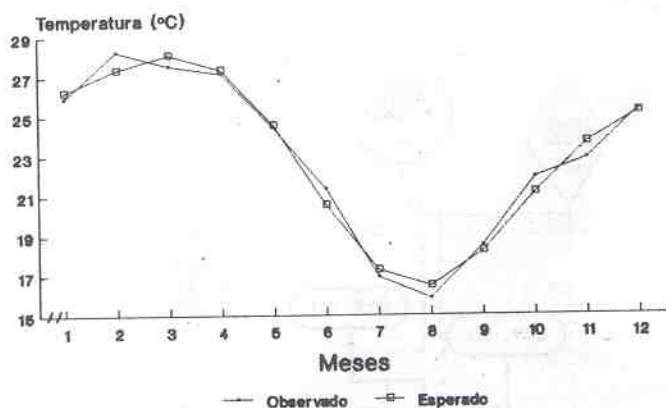


Fig. 2 - Ajuste da temperatura da água em viveiros do CEPTA em um modelo de regressão periódica.

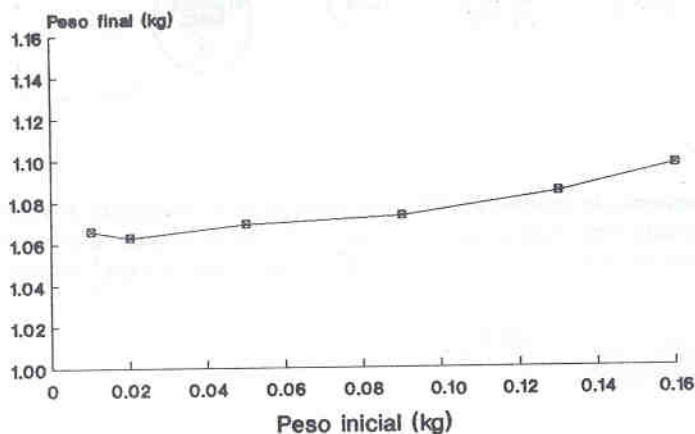


Fig. 3 - Influência que a variável peso inicial (D2) exerce no peso final (A2).

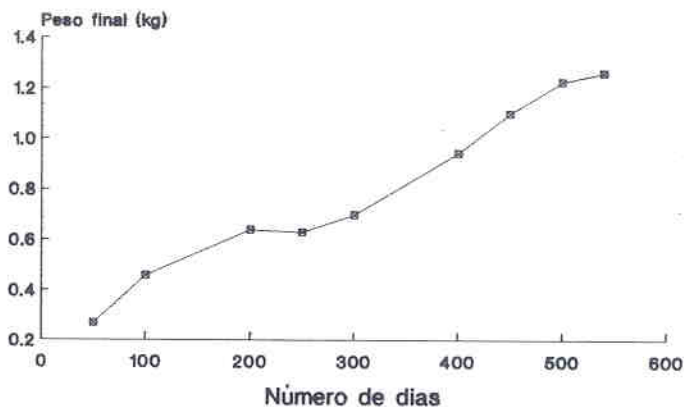


Fig. 4 - Influência do número de dias de simulação no peso final individual dos peixes (0 corresponde a 01/dezembro).

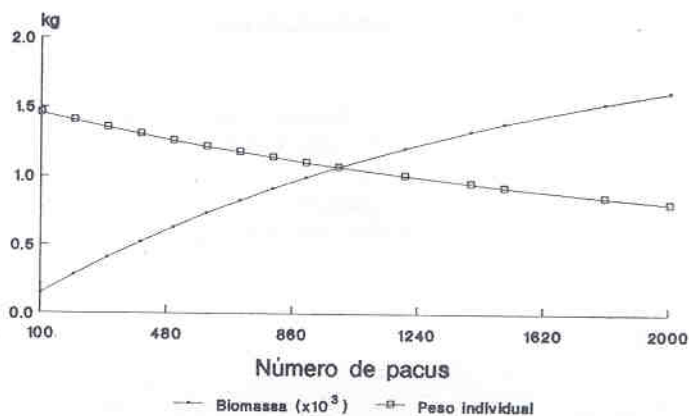


Fig. 5 - Biomassa total (Y1) e peso individual (Y2) em função do número de pacus (D5).