

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**ALIMENTAÇÃO DE *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)
(CRUSTACEA, PALAEMONIDAE) DURANTE A FASE LARVAL: EFEITOS DA
DENSIDADE DE NÁUPLIOS DE *Artemia*, DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS
DE RAÇÃO, DO TIPO DE ALIMENTO E DO FOTOPERÍODO.**

Helenice Pereira de Barros

Orientador: Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti

Tese apresentada ao Centro de Aquicultura da UNESP, como parte das exigências para a obtenção do título de DOUTOR em AQUICULTURA, Área de Concentração em Aquicultura em Águas Continentais.

JABOTICABAL
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**ALIMENTAÇÃO DE *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)
(CRUSTACEA, PALAEMONIDAE) DURANTE A FASE LARVAL: EFEITOS DA
DENSIDADE DE NÁUPLIOS DE *Artemia*, DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS
DE RAÇÃO, DO TIPO DE ALIMENTO E DO FOTOPERÍODO.**

Helenice Pereira de Barros

Orientador: Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti

Tese apresentada ao Centro de Aqüicultura da UNESP, como parte das exigências para a obtenção do título de DOUTOR em AQUICULTURA, Área de Concentração em Aqüicultura em Águas Continentais.

JABOTICABAL
Estado de São Paulo – Brasi
IFevereiro - 2001

Aos meus pais, João e Alzira,

Pelo carinho, apoio e compreensão constantes.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti, além de orientador, um grande amigo, pelo apoio e incentivo constantes e pelo profissionalismo, dedicação e paciência dispensados durante a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fernando Luis Medina Mantelatto, Dr. Hélcio Luis de Almeida Marques, Dra Maria Célia Portella e Dra Deborah Ismael pela análise crítica e valiosas sugestões aos manuscritos, apresentadas por ocasião da defesa do presente trabalho.

À todos os professores e alunos do curso de pós-graduação em Aqüicultura do CAUNESP pelo aprendizado e convívio mútuos.

Aos funcionários e amigos do Centro de Aqüicultura, especialmente aos técnicos do Setor de Carcinicultura, José Roberto Polachini e Valdecir Fernandes Lima, pela amizade, apoio e colaborações constantes.

À amiga Rosemeire Vidotti, pela grande ajuda na análise dos ingredientes e formulação da ração. Ao Prof. Dr. Luis Edivaldo Pezzato e às técnicas Regina e Dirce, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (UNESP, Botucatu) pela realização da análise bromatológica da ração.

Ao colega Atomo Furusawa pela tradução dos trabalhos publicados em chinês e japonês. À Ruth Vidotti pela versão do trabalho em inglês.

Aos companheiros e amigos "carcinicultores" Margarete Mallasen, Marcel José Martins dos Santos, Mariana Cutolo de Araújo, Karina Ribeiro, Marcelo Assano e Patrícia Maria Contente Moraes-Riodades pela amizade e convívio.

Às grandes amigas, Vera e Ana, por terem compartilhado comigo todos os momentos da minha vida, aqui em Jaboticabal, com carinho, atenção e paciência.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Doutorado.

Se citasse todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, participaram do período em que estive aqui, escreveria mais um capítulo. Pois foram muitas que, no decorrer desses anos, me ensinaram a encarar o mundo de uma forma peculiar e melhor. Foi um grande aprendizado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Referências	4
2. <i>Artemia</i> nauplii consumption during larval development of <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	6
Abstract	6
2.1. Introduction	7
2.2. Material and Methods	9
2.3. Results	11
2.3.1. Consumption at different larval stages	11
2.3.2. Consumption variation for different densities of food supply	12
2.4. Discussion	17
2.5. References	26
3. Aceitação de alimento por <i>Macrobrachium rosenbergii</i> durante o desenvolvimento larval	31
Resumo	31
3.1. Introdução	32
3.2. Material e métodos	35
3.2.1. Preparo dos alimentos inertes	36
3.2.1.1. Ração seca	36
3.2.1.2. Ração úmida	37
3.2.2. Determinação da frequência de aceitação de ração seca e úmida em diferentes tamanhos de partículas	39
3.2.3. Determinação da frequência de aceitação de náuplios de <i>Artemia</i> , ração seca e ração úmida	40
3.3. Resultados	41

3.3.1. Determinação da frequência de aceitação de ração seca e úmida em diferentes tamanhos de partículas	41
3.3.2. Determinação da frequência de aceitação de náuplios de <i>Artemia</i> , ração seca e ração úmida	41
3.4. Discussão	45
3.5. Referências	49
4. Influência do fotoperíodo na taxa de ingestão de náuplios de <i>Artemia</i> por larvas de <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	55
Resumo	55
4.1. Introdução	56
4.2. Material e métodos	58
4.3. Resultados	60
4.4. Discussão	62
4.5. Referências	65
5. DISCUSSÃO GERAL	68
5.1. Referências	75

1. INTRODUÇÃO GERAL

A criação de camarões de água doce é um dos setores da aquicultura que mais cresceu nos últimos anos, tanto em termos de quantidade, como em valor (New, 2000), sendo *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) a principal espécie cultivada. Em 1998, a produção anual global desta espécie atingiu 130.000 t, movimentando um montante de aproximadamente U\$ 800 milhões (New, 2000). Entre 1989 e 1998, o volume produzido teve um crescimento de 660%. Deve-se destacar, no entanto, que a produção da China apareceu nas estatísticas oficiais a partir de 1996 e a de Bangladesh, a partir de 1997. Ainda assim, o volume produzido saltou de 109.000 t em 1997, para 130.000 t em 1998, o que representa um crescimento de 18,6% (Valenti, 2001).

A carcinicultura de água doce apresenta uma série de vantagens que têm despertado o interesse de órgãos governamentais, empresários e produtores rurais. Ao contrário da carcinicultura marinha, pode ser realizada em áreas interiores, apresenta maior estabilidade, não sofrendo oscilações repentinas de produção, é menos susceptível ao efeito de patógenos e pode ser praticada com lucro em empreendimentos pequenos, médios ou grandes. Dessa forma, adapta-se perfeitamente aos conceitos modernos da aquicultura sustentável, uma vez que é uma atividade lucrativa, de baixo impacto ambiental e com ganhos sociais, adequando-se muito bem aos sistemas familiares de produção (New et al., 2000; Valenti, 2001).

Devido ao interesse econômico que essa espécie apresenta, várias pesquisas foram conduzidas, resultando em um grande avanço na tecnologia de produção de pós-larvas e camarões e ao uso de técnicas de despesca, abate e conservação da carne (Valenti, 2001).

Apesar do desenvolvimento tecnológico obtido nas últimas décadas, a alimentação ainda constitui-se em um ponto crítico na fase de larvicultura de *M. rosenbergii* e outros decápodes de interesse comercial (Lavens et al., 2000).

Durante os primeiros estágios de desenvolvimento, larvas de *M. rosenbergii* são muito pequenas, extremamente frágeis e utilizam-se de sistemas ainda parcialmente desenvolvidos, como o trato digestório, a visão e quimiorrecepção. Além disso, passam por uma série de estágios durante o seu desenvolvimento, com características distintas. Dessa forma, as larvas possuem limitações com respeito à tomada de alimento e digestão, acarretando em necessidades específicas do tipo de alimento para cada estágio (Lavens et al., 2000).

Náuplios de *Artemia* spp são utilizados em todo o mundo como alimento vivo no cultivo larval de crustáceos e peixes. Entretanto, alguns problemas relacionados à sazonalidade da produção e à variação na qualidade dos cistos têm elevado consideravelmente o custo da produção de pós-larvas e alevinos. Na tentativa de maximizar a eficiência alimentar das larvas, vários esforços têm sido realizados objetivando o desenvolvimento de uma estratégia de alimentação adequada e menos onerosa para o cultivo larval (Lavens et al., 2000).

O sucesso de dietas para manutenção larval de peixes e de crustáceos é dependente de vários fatores. Além da qualidade nutricional, a concentração adequada do alimento e o comportamento alimentar das larvas, são de importância básica (Yúfera e Rodriguez, 1985). A falta de informações sobre a forma como os animais percebem, capturam, ingerem e assimilam o alimento pode representar um ponto de estrangulamento no fornecimento de determinado organismo vivo e na formulação de dietas artificiais (Mooler, 1978; Jones et al., 1997). Além disso, critérios de seleção como tamanho, forma e textura adequados, atratividade e custos de produção devem ser considerados (Jones et al., 1979; Wilckenfeld et al., 1984; Meyers e Hagood, 1984; Kurmaly et al., 1990; Sorgellos e Léger, 1992; Jones et al, 1997).

Alguns aspectos abióticos também são de grande importância para o sucesso do manejo alimentar. Temperatura e salinidade da água e luminosidade inadequadas podem afetar o metabolismo e comportamento das larvas e, conseqüentemente, a taxa de alimentação e desenvolvimento larval (Minagawa, 1994).

O objetivo deste trabalho foi fornecer subsídios para o estabelecimento de uma estratégia de fornecimento de alimento adequada para maximizar a produção de pós-larvas de *M. rosenbergii*. Foram estudados os seguintes aspectos do comportamento alimentar das larvas em cada estágio de desenvolvimento:

1. consumo de náuplios de *Artemia* pelas larvas em diferentes densidades de fornecimento;
2. aceitação de alimento inerte (ração seca e úmida) em diferentes tamanhos de partículas;
3. aceitação de alimento vivo e inerte (ração seca e úmida);
4. consumo de náuplios de *Artemia* pelas larvas em diferentes regimes de fotoperíodo.

Dessa forma, foram determinadas as densidades de náuplios de *Artemia*, o tamanho das partículas de alimento inerte, o tipo de alimento e o fotoperíodo mais adequados para larvas de *M. rosenbergii* em cada estágio de desenvolvimento.

Optou-se por apresentar esta tese na forma de artigos científicos. O primeiro, apresentado no capítulo 2, engloba o assunto contido no item 1 acima; está redigido em inglês, dentro das normas exigidas para publicação na Revista "Aquaculture". O capítulo 3 contém artigo referente aos itens 2 e 3 e o capítulo 4 contempla o item 4. Esses dois últimos serão traduzidos para o inglês e enviados para publicação.

1.1. REFERÊNCIAS

- Jones, D.A.; Kanazawa, A.; Abdel Rahaman, S. 1979. Studies on the presentation of artificial diets for rearing the larvae of *Penaeus japonicus* Bate. *Aquaculture* 17: 33-43.
- Jones, D.A.; Yule, A.B.; Holland, D. 1997. Larval nutrition. In: D'abramo, L.R.; Conklin, D.E.; Akiyama, D.M. (Eds.). *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture, Vol.6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 356-389.
- Kurmaly, K.; Jones, D.A.; Yule, A.B. 1990. Acceptability and digestion of diets fed to larval stages of *Homarus gammarus* and the role of dietary conditioning behaviour. *Mar. Biol.* 106:181-190.
- Lavens, P.; Thongrod, S.; Sorgeloos, P. 2000. Larval prawn feeds and the dietary importance of *Artemia*. In: New, M.B. and Valenti, W.C. (Eds.). *Freshwater prawn culture.* Blackwell Science, Oxford, pp. 91-111.
- Meyers, S.P. and Hagood, R.W. 1984. Flake diets and larval crustacean culture. *Prog. Fish. Cult.* 46:225-229.
- Minagawa, M. 1994. Effects of photoperiod on survival, feeding and development of larvae of the red frog crab, *Ranina ranina*. *Aquaculture* 120:105-114.
- Mooler, T.H. 1978. Feeding behaviour of larvae and postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea, Palaemonidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 35:251-258.
- New, M.B. 2000. History and global status of freshwater prawn farming. In: New, M.B. and Valenti, W.C. (Eds.). *Freshwater prawn culture.* Blackwell Science, Oxford, pp. 1-11.
- New, M.B.; D'Abramo, L.R.; Valenti, W.C.; Singholka, S. 2000. Sustainability of freshwater prawn culture. In: New, M.B. and Valenti, W.C. (Eds.). *Freshwater prawn culture.* Blackwell Science, Oxford, pp. 429-434.
- Sorgeloos, P. and Léger, P. 1992. Improved larviculture outputs of marine fish, shrimp and prawn. *J. World Aquacult. Soc.* 23:251-264.
- Valenti, W.C. 2001. A modernização da carcinicultura de água doce. *CAUNESP Notícias. Boletim Informativo do Centro de Aqüicultura da UNESP, 20:3-4.*

Wilckenfeld, J.S.; Lawrence, A.L.; Kuban, F.D. 1984. Survival, metamorphosis and growth of penaeid shrimp larvae reared on a variety of algal and animal foods. J. World Maricult. Soc. 15:31-49.

Yúfera, M. and Rodriguez, A. 1985. Tasas de alimentación y crecimiento de *Palaemonetes varians* (Crustacea: Palaemonidae) durante el desarrollo larvario. Invest. Pesq. 49:597-606.

2. *Artemia* nauplii consumption during larval development of *Macrobrachium rosenbergii* in laboratory conditions

Abstract

The functional response (relationship between ingestion rate and food concentration) was determined for each larval stage of *Macrobrachium rosenbergii*. *Artemia* nauplii were supplied at six different densities: 2, 4, 6, 8, 10 and 12 ind/mL. The nauplii were counted manually using a Pasteur pipette and placed in Petri dishes containing 40 mL of brackish water (12‰). A single *Macrobrachium rosenbergii* larvae was placed in each Petri dish and after 24 hours the leftover nauplii were counted. Daily average ingestion rate by larva was calculated for each zoeal stage. Consumption pattern was defined by the model $I = I_m(1 - e^{-kP})$. Ingestion rate increased with food density in the medium. The best relationship between predator and prey seemed to occur during stages IV and V. The high values for maximum ingestion (I_m) and the low values for constant k obtained in the last larval stages indicate the necessity of supplementary diet during the final stages of development.

Keywords: functional response; ingestion rate; prawn larvae; *Macrobrachium*; *Artemia*.

2.1. Introduction

Feed is a fundamental aspect in larval culture of decapod crustaceans (Jones et al., 1997; Correia et al., 2000; Valenti and Daniels, 2000). In general, species cultivated for commercial purposes are small, present reduced buccal opening, and small vitellinic reserve, hence the necessity of exogenous food one or two days after hatching. In addition, they undergo several developmental stages, changing their morphology, behavior and nutritional needs (Loya-Javellana, 1989; Sorgellos and Léger, 1992, Jones et al., 1997, Lavens et al., 2000).

The main difficulty in larviculture of the majority of the species with aquaculture potential is to determine an optimum diet, that is, a diet with high nutritive value at low cost. Generally, feeding is based on live food supply, which in addition to supplying all necessary nutrients for development, can contribute with exogenous digestive enzymes that act on larvae digestive tract (Kurmaly et al., 1990; Jones et al., 1993; Kamarudin et al., 1994).

Studies on the rate of live food ingestion have been conducted with several larvae of decapods crustacean, such as: *Penaeus marginatus* (Gopalakrishnan, 1976); *Homarus americanus* (Carlberg and Van Olst, 1976); *Penaeus indicus* (Emmerson, 1980; 1984); *Pandalus borealis* (Wienberg, 1982); *Hyas araneus* (Anger and Dietrich, 1984); *Penaeus kerathurus* (Yúfera et al., 1984); *Palaemonetes varians* (Yúfera and Rodriguez, 1985a); *Palaemon serratus* (Reeve, 1969; Yúfera and Rodriguez, 1985b; 1987); *Metapenaeus ensis* (Chu and Shing, 1986); *Carcinus maenas* (Dawirs and Dietrich, 1986); *Ranina ranina* (Minagawa and Murano, 1993a; 1993b); *Lysmata wurdemanni* (Zhang et al., 1998). However, the research conducted up to this date is insufficient to establish a feeding schedule for species of economical importance.

The food of *Macrobrachium rosenbergii* larvae culture consists basically of newly hatched *Artemia* nauplii (Lavens et al., 2000). However, the adequate amount to be supplied daily is based on empirical data. The hatcheries, in general, maintain a constant

supply (about 5 nauplii/mL/day) or increase it over culture period (Aquacop, 1983; Daniels et al., 1992; Valenti et al., 1998). Although this common practice brings positive results, larval ingestion rates might vary, thus presenting consumption peaks at certain stages and decreasing consumption in others. Consequently, there could be leftover nauplii in some phases of culture, generating waste and elevating the concentration of toxic nitrogen compounds that compromises water quality. On the other hand, there could be some phases during which the larvae are underfed, thus resulting in reduced growth rate and eventually, cannibalism.

Supplying the optimum amount of *Artemia* nauplii during each developmental stage contributes not only to reduce production costs, but also minimizes the problems related to water quality in larviculture. Therefore, rationalization of *Artemia* supply can contribute significantly to maximize productivity and profits.

The aim of this work was to investigate daily consumption of *Artemia* nauplii by *M. rosenbergii* larvae, during their ontogenetic development with respect to nauplii density in the medium. The resulting knowledge will then be used to establish a feeding schedule for the production of *M. rosenbergii* post-larvae.

2.2. Material and Methods

This work was conducted at Crustacean Biology Laboratory, Aquaculture Center (CAUNESP), UNESP (Jaboticabal, SP, Brazil), in a controlled temperature room. The larvae were supplied by four berried *M. rosenbergii* females obtained from the broodstock at Crustacean Sector, CAUNESP. The larviculture was carried out to supply larvae at different developmental stages to conduct the trials. In this way, newly hatched larvae were stocked in a 120 L cylindrical tank, with conical bottom, equipped with water circulation closed system and heater. Density in the tank was about 90 individuals/L and water salinity was kept at 12‰. The main water parameters (temperature, pH, ammonia, nitrite and dissolved oxygen) were monitored and kept within the range recommended by Valenti et al. (1998) and Correia et al. (2000). The larvae were fed exclusively with newly hatched *Artemia* nauplii, supplied *ad libitum* twice a day.

For each developmental stage (II to XI), six densities of *Artemia* nauplii were tested: 2, 4, 6, 8, 10 and 12 individuals/mL. The experimental design was completely randomized with 6 treatments and 15 repetitions. The tests were not carried out with larvae in the first developmental stage, since these larvae do not feed themselves even when there is available food (Mooler, 1978; Barros and Valenti, 1997). The identification of different larval stages was done according to Uno and Kwon (1969).

Newly hatched *Artemia franciscana* nauplii (originating from Great Salt Lake, USA) were counted manually using a Pasteur pipette and transferred to Petri dishes containing 40 mL of brackish water lying on the top of a black plastic. The water used in the trials was previously collected from the larvae storage maintenance tank and filtered using 125 µm nylon screen. Water temperature was monitored at the beginning and the end of each trial. One larvae at each stage was placed separately in the Petri dish, containing different food density. After 24 hours, the larvae was removed from the Petri dish and the leftover nauplii were counted. Only intact individuals were considered.

Average number of nauplii consumed daily by the larvae in each stage was then calculated. In order to determine variation in consumption for all ten developmental stages (II to XI) and among all six treatments, daily average values obtained for ingestion were compared by variance analysis (F test) followed by Tukey pairwise comparison when significant differences were found. Differences were considered to be significant when $P < 0.05$.

The mathematical model that describes daily consumption of *Artemia* by the larvae as a function of nauplii density was analyzed. The ingestion curve was adjusted for each larval stage and can be described by the following equation:

$$I = I_m (1 - e^{-kP})$$

where: I = ingestion rate (nauplii/larvae/day); I_m = maximum ingestion rate (nauplii/larvae/day); k = constant; P = prey density (nauplii/mL). This model is frequently used to represent the ingestion curve in Crustacea (Valiela, 1984; Lin e Uno, 1987; Minagawa e Murano, 1993a).

Ingestion rate was calculated as corresponding to 90% of the maximum ingestion rate ($I_{90\%}$). Nauplii density ($p_{90\%}$) necessary to reach $I_{90\%}$ was obtained by the following equation:

$$P_{90\%} = -\ln(1 - I_{90\%}/I_m)/k$$

2.3. Results

Average value for water temperature in the maintenance tank was 30.0(C and in the Petri dishes 28.2(C. Other parameters displayed the same values for both, tank and Petri dishes. Average salinity was 12.9‰, pH 7.9, ammonia and nitrite varied from 0 to 0.1 mg/L, and light intensity was about 200 lux. Dissolved oxygen content in the maintenance tank water was close to saturation value.

2.3.1. Consumption at different larval stages

The smallest average ingestion rate was 9.3 nauplii/larvae/day, observed for larvae in stage XI and density of 2 nauplii/mL; the highest average value was 82.2 nauplii/larvae/day, obtained in stage X, and density of 10 nauplii/mL (Fig. 1).

Individual consumption varied from 0 nauplii/larvae/day, observed in stage VI, density 2 nauplii/mL, to 184 nauplii/larvae/day, density 12 nauplii/mL in stage XI. Large variation in nauplii consumption by larvae in the same stage was observed, independent of food density. Variation coefficient displayed values between 28 and 85%, but in almost cases lower than 50%.

Ingestion pattern was similar for densities 2, 4 and 6 nauplii/mL. In general, ingestion rate increased up to stages VII – VIII and decreased in the final stages (IX to XI), with discontinuity between stages VIII and IX (Fig. 1). The decrease observed between stages V and VI for 2 and 6 nauplii/mL densities was not significant, in opposite 4 nauplii/mL. Larvae submitted to densities of 8 nauplii/mL displayed similar pattern, however, reduction in consumption was only observed from stage X onward (Fig. 1). For density of 10 nauplii/mL, ingestion rate displayed a tendency to increase between stages II to X, reaching 82 nauplii/larvae/day. In stage XI, consumption decreased down to 47 nauplii/larvae/day, thus differing significantly from the previous stages ($P < 0.01$). At 12 nauplii/mL, average values of ingestion rate presented large variation between

consecutive stages up to VII. However, it was observed an increasing tendency in nauplii consumption until a relatively stable plateau was reached from stage VIII onward, at about 70 nauplii/ larvae/day (Fig. 1).

2.3.2. Consumption variation for different densities of food supply

Consumption rates of *Artemia* nauplii by *M. rosenbergii* larvae increased significantly ($P < 0.01$) with food concentration in the medium, for all larval stages, except stage IV. Average ingestion values for each treatment presented significant differences between the highest and the lowest food concentration. Generally, densities between 4 and 8 nauplii/mL yielded similar consumption rates by larvae in each stage.

For larvae in stages II to VIII, ingestion reached a maximum limit, thus suggesting a saturation value (Fig. 2). From this point on, increasing nauplii concentration did not affect consumption significantly, thus resulting on stabilization of consumption. Therefore, the regression equation used to describe the mathematical model of daily ingestion rate for *M. rosenbergii* larvae fitted quite well the data on nauplii consumption obtained during this phase of development.

Table 1 shows the values for maximum ingestion rate (I_m), rate constant k and nauplii density necessary for consumption corresponding to 90% of maximum ingestion ($P_{90\%}$), obtained from the regression equation. The results shown four groups of consumption during larval development. The first is formed by stages II, III and IV, with average maximum consumption of about 40 nauplii/day; the second is formed by stages V and VI, with consumption of approximately 55 nauplii/day; the third is formed by stages VII and VIII, with consumption of 80 – 100 nauplii/day and the fourth group is formed by stages IX, X and XI, which presents much higher consumption, and estimated values given by the adjusted equation are above the load capacity of the medium.

Table 1. Values of maximum ingestion rate and constant k calculated using the regression equation, as well as nauplii density necessary to attain consumption corresponding to 90% of maximum rate for each stage of *M. rosenbergii* larvae.

Stage	I_m	k	$P_{90\%}$
II	44.5	0.200	11
III	40.1	0.243	9
IV	36.9	0.383	6
V	57.1	0.299	8
VI	53.5	0.175	13
VII	99.4	0.119	19
VIII	77.1	0.156	15
IX	369.8	0.019	-
X	601036.9	0.997×10^{-5}	-
XI	176631.2	0.300×10^{-4}	-

The values obtained for constant k were plotted as a function of larval development stages (Fig. 3). It can be seen that constant values increase between stages II to IV, and decrease in subsequent stages (IX to XI). In the final stages of development, the values were practically nil (Table 1).

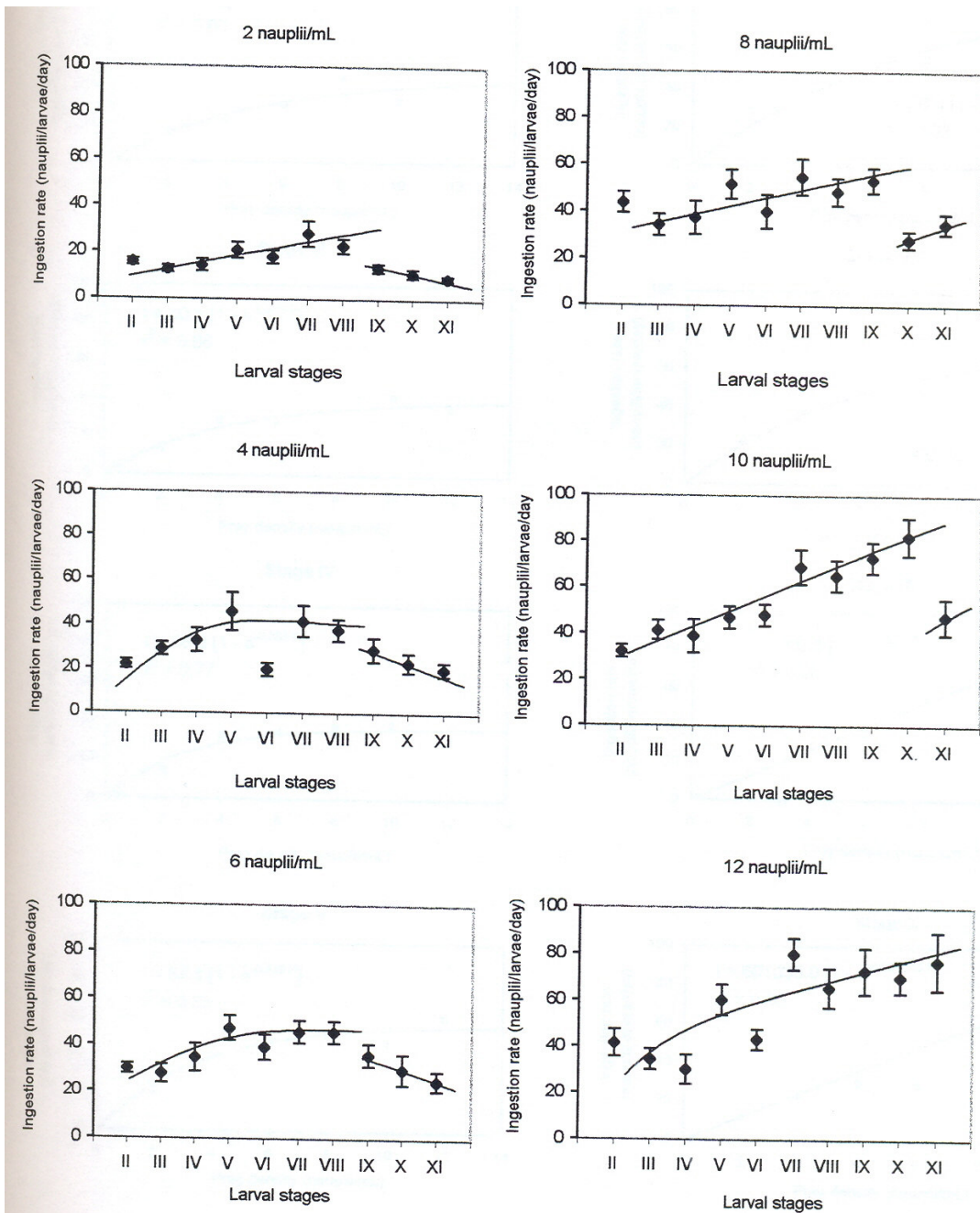


Fig. 1. Ingestion rate of *Artemia* nauplii by larvae as a function of developmental stages, for different food densities.

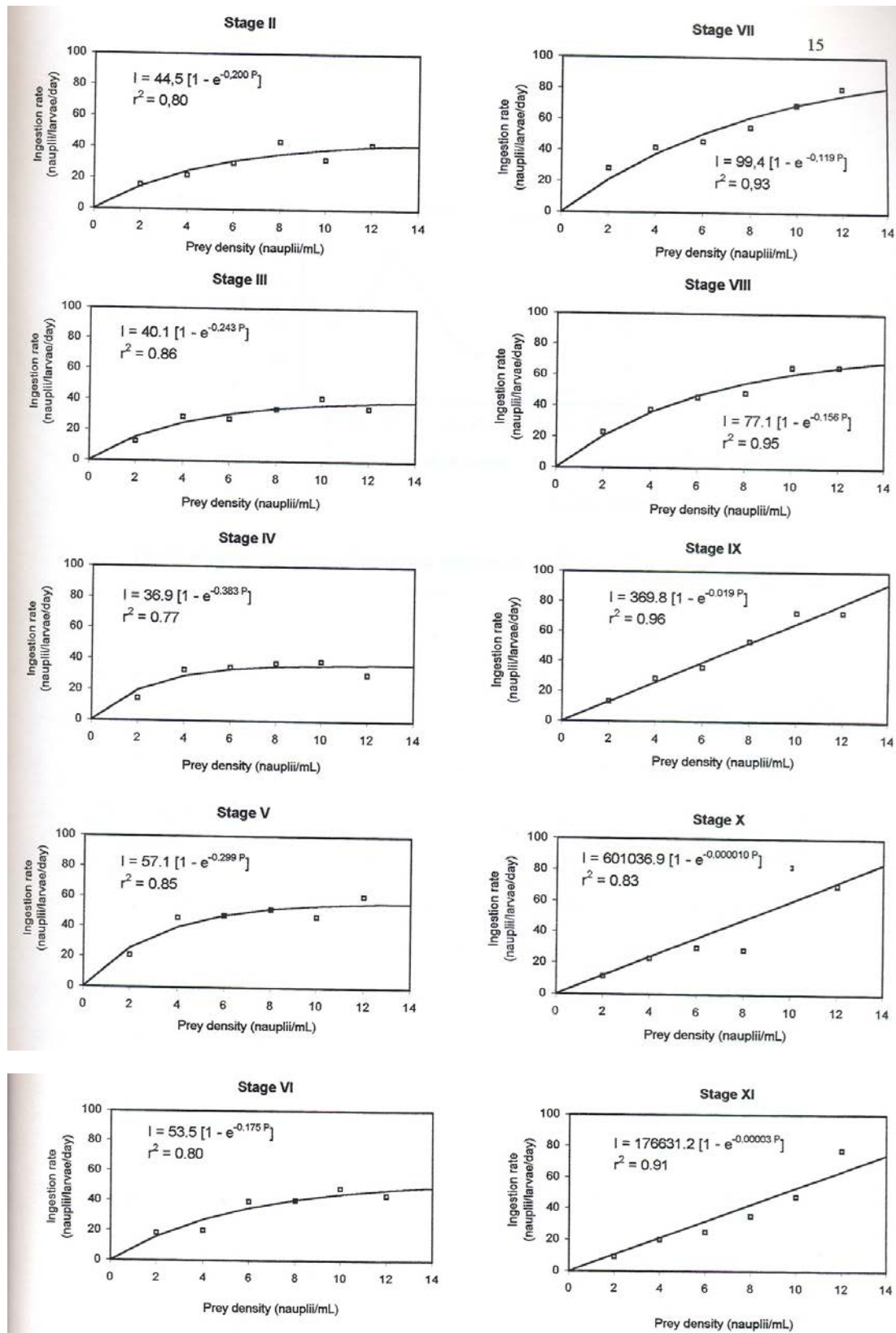


Fig. 2. Ingestion rate (nauplii/larvae/day) by larval stages as a function of prey density. Equations (see text) given with fitted parameters.

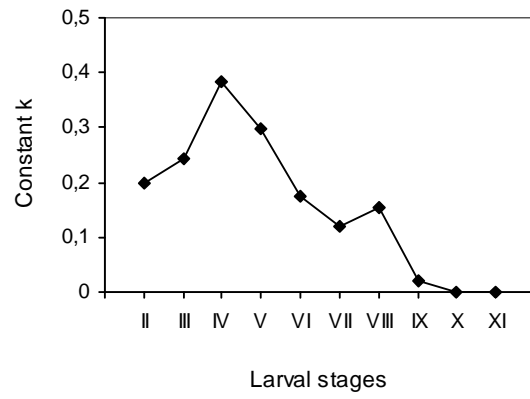


Fig. 3. Specific rate constant k plotted against larval development stages.

2.4. Discussion

The order of magnitude of ingestion rates for *M. rosenbergii* was similar to other decapod crustaceans fed with *Artemia* nauplii at similar densities, such as *Menippe mercenaria* (Mootz and Epifanio, 1974), *Homarus americanus* (Carlberg and Van Olst, 1976), *Rhithropanopeus harrisi* (Levine and Sulkin, 1979), *Pandalus borealis* (Wienberg, 1982), *Hyas araneus* (Anger and Dietrich, 1984), *Palaemon serratus* (Yúfera and Rodríguez, 1985a), and *Carcinus maenas* (Dawirs and Dietrich, 1986). The large variation in the ingestion rates by larvae in the same developmental stage observed in our study of *M. rosenbergii* seems to be a common phenomenon in several species of crustaceans (Anger and Dietrich, 1984). This variation may result from interference of molting cycle on energy demand of the prawn or individual changes on prey perception capacity by the larvae.

Studies about daily food rate for some Crustacea species, such as *Menippe mercenaria* (Mootz and Epifanio, 1974), *Hyas araneus* (Anger and Dietrich, 1984, Anger et al., 1989; Anger, 1990), *Carcinus maenas* (Dawirs and Dietrich, 1986) and *Ranina ranina* (Minagawa and Murano, 1993b), showed that ingestion rate changes during molting cycle. In some species, consumption was higher during post-molt period (Anger, 1990), while in others peak consumption occurs during intermolting or pre-molting period (Minagawa and Murano, 1993b). In the present research, the phases of the molting cycle were not determined, but it is assumed that all phases were represented in the 15 repeat trials that were carried out. Thus, the resulting data represent daily average consumption by larvae in each stage.

In general, decapod larvae do not show orientation behavior towards food resource, therefore they depend on chance encounter to capture food (Mooler, 1978; Stickney and Perkins, 1981; Meyers and Hagood, 1984; Kurmaly et al., 1989, 1990). However, Barros and Valenti (1997), while studying feeding behavior of *M. rosenbergii* larvae, observed individual changes in senses acuity. These authors observed that only a

small fraction of individuals detected and pursued *Artemia* nauplii as well as ration particles in motion. Thus, this small fraction of individuals of certain population would be more able to take fully advantage of available resources, and probably, present higher ingestion rates. Such ability would result in higher variability in consumption among individuals at same developmental stage.

The stabilization or decline in daily ingestion rate during the last larval stages of crustaceans fed with uniform size preys, as it was done in the present work, can be the result of stabilization of nutritional needs of the animals or loss in capture efficiency due to necessity of larger preys (Valiela, 1984; Yúfera and Rodriguez, 1985b). The first hypothesis did not seem valid for *M. rosenbergii*, since there was an increase in consumption by larvae during the final development stages as a function of increasing nauplii concentration (Fig. 1). Analysis of ingestion rates in each larval stage as a function of nauplii density (Fig. 2) indicated that for II to VIII stages, consumption increased with food availability to a maximum value, thus suggesting the existence of a saturation point from which nauplii concentration did not seem to affect consumption significantly. Although the proposed regression equation fitted the data obtained for stages IX, X and XI, the saturation point falls far from the studied concentration intervals. The saturation point for these stages could be determined more precisely in new studies using higher nauplii densities. Therefore, the relationship can be described by a linear model, indicating that the larvae can consume even more if nauplii concentration increases. This fact suggests the need of more food to fulfill the energy demand of *M. rosenbergii* during the last three larval stages. Literature data have shown higher energy demand to fulfill metabolic costs and/or growth, as well as preparation of the organism for metamorphosis during the last larval stages of *Menippe mercenaria* (Mootz and Epifanio, 1974), *Rhithropanopeus harrisi* (Levine and Sulkin, 1979), *Penaeus kerathurus* (Yúfera et al., 1984), *Penaeus indicus* (Emmerson, 1980, 1984) and *Penaeus monodon* (Kurmaly et al., 1989).

On the other hand, it was verified that for densities of 2, 4 and 6 nauplii/mL, the consumption decreased from stage IX onward. When the number of nauplii was increased to 8 and 10 individuals/mL, this decrease occurred from stages X and XI, respectively. For density of 12 nauplii/mL, ingestion rates did not decrease during the last developmental stages. Possibly, as the larvae grow, the relationship prey size/predator size makes nauplii capture by the larvae more difficult. So, at low densities ingestion rate is lower for larvae in final development stages, because higher nauplii density is needed to make capture possible. Observations of larvae feeding behavior have shown that from stage VIII onward, larvae do not grab nauplii with their appendices, but they create a current of water towards their mouth in order to ingest the food (Barros, 1997). Such pattern demands high nauplii concentration in order to attain satisfactory consumption by the larvae. Ingestion reduction by the predator, when prey number is reduced, might be a strategy to maximize energy. If food concentration is very low, the energy consumed with the feeding process can be higher than the energy supplied by the food. In addition, for decapod planktonic larvae in the last stages, energy is displaced from growth strategy and epidermis reconstruction (morphogenesis) to search for a favorable habitat, since they assume a more benthic behavior (Anger, 1991). In order to attain adequate larval development, food supply in *M. rosenbergii* larviculture should be at least 6 nauplii/mL in stage VIII; 8 nauplii/mL in stage IX; 10 nauplii/mL in stage X and 12 nauplii/mL in stage XI. Holling (1959) named the relationship between ingestion rate and food concentration functional response. According to this author there are three basic types. In type I ingestion increases linearly with increasing number of preys until it reaches a satiation point. In type II ingestion rate increases with increasing food density with decelerating rate, until it reaches a maximum value when it stabilizes, thus resulting in an asymptote. The third type displays a sigmoid response, with a lower and upper limit, beyond which it displays decreasing ingestion rates. The variation in the ingestion rates showed by *M. rosenbergii* larvae from stages II to VIII with respect to concentration of live food follows type II model. Similar functional response was observed for other decapods, such as *Hyas*

araneus (Anger and Nair, 1979), *Penaeus indicus* (Emmerson, 1980), *P. kerathurus* (Yúfera et al., 1984), *Palaemon serratus* (Yúfera and Rodriguez, 1985a), *Palaemonetes varians* (Yúfera and Rodriguez, 1985b), *Metapenaeus ensis* (Chu and Shing, 1986) and *Penaeus monodon* (Loya and Javellana, 1989).

The mathematical model proposed in this work fitted the data and described *M. rosenbergii* functional response adequately up to stage VIII (Fig. 2). With the proposed equation it is possible to determine maximum ingestion rate (I_{max}) and constant k with respect to each developmental phase. Maximum ingestion rate values given by the equation represent the maximum average value consumed by the larvae when food density tends to infinity. The average consumption values observed (Fig. 1) were, generally, lower than I_{max} (Table 1). This indicates that nauplii concentration in the medium is a limiting factor for ingestion. Possibly, when nauplii concentration is lower than the optimum value, the larvae ingest less *Artemia* than it needs.

Aquacop (1983) suggests supplying 5 nauplii/larvae/day for *M. rosenbergii* from the second day of culture and increasing 5 nauplii/larvae every 1 or 2 days. Thus, more than 40 nauplii/larvae/day would be supplied only from the 12th day on, when the larvae have attained stages V and VI. A comparison between I_{max} values obtained in the present work with the values reported by Aquacop (1983) indicate that in the initial stages the amounts were underestimated by the latter, since values close to 40 nauplii/larvae/day are needed from stage II onward. Between stages V and VI, 55 nauplii/larvae/day would be necessary, which is lower than the value reported by Daniels et al. (1992). These authors suggest a daily ingestion rate of 100 nauplii/larvae/day from the 15th day onward. In the final stages (between 13th and 30th day), Aquacop (1983) suggests values of about 45 nauplii/larvae/day, which is much lower than the results obtained in the present work (more than 75 nauplii/larvae/day). However, these authors recommend supplementary ration diet from the 12th day onward.

As I_{max} corresponds to an asymptotic value, it was assumed that the density needed to reach ingestion rate values corresponding to 90% of the maximum rate was

nauplii critical density ($P_{90\%}$) (Table 1). These values could be recommended for *M. rosenbergii* hatcheries. In the last larval stages (IX to XI) the regression equation gives very high maximum ingestion rates. In these stages, the functional response is type I, when the food is made up of *Artemia* nauplii at studied densities. These data suggest the need of a supplementary diet from the stage IX onward.

The constant k measures the curvature of the regression line (Knight, 1968), that is, it determines the change in the ingestion rate (I) with respect to prey density (P) (Valiela, 1984). If we consider that this constant represents the velocity at which maximum ingestion is reached, this value also represents adaptability of the food to prey characteristics, such as, size, mobility, etc. Therefore, higher k values implies more appropriate food for the predator, since that even in low densities, it would be consumed in an adequate manner. In the present research, the constant k might be representing the adjustment of *Artemia* nauplii with respect to *M. rosenbergii* larvae in each developmental stage, since the newly-hatched nauplii used had the same origin and, therefore, size, mobility and nutritional value were constant during the larval cycle. It was verified that k values increased up to stage IV. From this stage on, it decreased gradually all the way to almost zero in stages IX, X and XI (Table 1 and Fig. 3). It can be concluded that the best relationship between predator and prey occurs for larvae in stage IV, when in addition to attaining maximum ingestion rate at 4 nauplii/mL density, they ingested more nauplii at low densities than larvae in final developmental stages (Fig. 2). This conclusion is backed up by the fact that this was the only stage in which no significant differences were observed in nauplii consumption among tested densities. In this stage, mouth and pereopods are more developed with respect to earlier stages, which increases the efficiency in capturing nauplii. Barros and Valenti (1997) observed that *M. rosenbergii* larvae in stages II and III ingest only the abdomen of the nauplii; complete ingestion occurs only from stage IV and onward. The capacity by the larvae to capture preys increases in the following stages with the development of buccal apparatus and locomotion appendices. However, nauplii adaptability as food seems to diminish, probably

due to small size compared to the larvae. In stage IV, nauplii size corresponds to approximately 20% of larvae average total length (2.5 mm according to Uno and Kwon, 1969). This relationship diminishes to about 8 to 6% in stages IX to XI, when the larvae reaches average length between 6 and 7.7 mm, respectively, thus suggesting that larvae in the final developmental stages (IX, X and XI) present restrict abilities to capture these preys. Larvae capture performance during different stages with different sizes can be compared by minimum density necessary for the larvae to attain 90% of the maximum ingestion rate about 10 nauplii/mL in the final stages (Table 1).

Prey size and density are not independent variables when determining ingestion rate (Valiela, 1984). Sick and Beaty (1974) investigated consumption of *Artemia* nauplii of different sizes by *M. rosenbergii* larvae in stage XI and reported higher ingestion rates when the size of the nauplii supplied corresponded to about 19% of larvae average length. Alam et al. (1995) observed that increasing consumption of *Moina micrura* by *M. rosenbergii* in stage VI, when the relationship between the size of prey and predator was approximately 18%. These data suggest that for *M. rosenbergii* larvae, the most favorable relationship prey size/predator size lies at about 0.2. This indicates that in larviculture the ideal size of live food to be supplied is approximately 20% of larvae size.

Yufera et al. (1984) observed that consumption of the rotifer *Brachionus plicatilis* by *Penaeus kerathurus* larvae diminish during development. These authors reported functional response of type I (linear relationship) when feeding *B. plicatilis* from phase protozoa I and on. However, when feeding *Artemia* nauplii between mysis II and post-larvae III, functional response was of type II (asymptotic). The authors concluded that rotifers are not an adequate food type from mysis II onward, due to their reduced size.

According to Holling (1959) functional response takes into account two very important parameters for predator consumption, among others, when prey size does not vary: capture or attack rate and handling time. As the larvae develop, attack rate tends to increase and handling time decreases, thus increasing ingestion rate. Barros and Valenti (1997) observed that for *M. rosenbergii* larvae in stages II and III capture and ingestion

time of *Artemia* nauplii was approximately 10 minutes. In stage IV this time was reduced to about 3.5 minutes. From then on, there is a gradual reduction reaching about 1 second in stages IX to XI. Although they present more developed appendices and buccal apparatus, larvae in stages IX to XI have difficulties to capture preys and small particles when available in low concentrations. As it was mentioned earlier, larvae in these stages create a nauplii flow towards the mouth, similar to filtering animals, instead of capturing one nauplius at once. Therefore, in higher concentrations ingestion should be higher. In fact, increasing food concentration lead to higher ingestion rates (Fig. 1). Thus reinforcing the hypothesis that *Artemia* nauplii are not adequate to feed *M. rosenbergii* larvae during the three last developmental stages. This result is of great importance for culture and might explain the low productivity displayed in larviculture using only *Artemia* as food.

In order to establish an adequate feeding schedule for *M. rosenbergii* larviculture, the minimum concentration of *Artemia* necessary to maximize capture efficiency and daily amount of nauplii ingested by the larvae should be considered. These vary with the larval stage. Table 2 displays recommended nauplii densities for larviculture considering these two factors.

Table 2. Recommended nauplii densities for *M. rosenbergii* larviculture. Column A: minimum concentration necessary to maximize capture efficiency; column B: minimum concentration needed to attain daily ingestion rate.

Larval stage	Diet		Supplementary diet
	<i>Artemia</i> (nauplii/mL)		
	A	B	
I	-	-	No
II	6	11	No
III	6	9	No
IV	6	6	No
V	6	8	No
VI	6	13	No
VII	6	19	No
VIII	6	15	No
IX	8	-	Yes
X	10	-	Yes
XI	12	-	Yes

From stage II to VIII, the minimum concentration of nauplii necessary to maximize capture efficiency is always lower than the concentration needed to maximize ingestion rate. Thus, it is recommended that these last values should be used in larviculture. These are higher than values commonly used in commercial hatcheries, that is, 5 to 7 nauplii/mL during the entire larval cycle (Valenti and Daniels, 2000). However, mass-rearing culture should be tested, because excessive amount of *Artemia* might compromise the water quality and consequently, larval development and survival rates.

In stages IX, X and XI recommended concentrations are the minimum nauplii density necessary for an efficient capture by the larvae. However, at these densities nauplii are not present in sufficient amounts to fulfill the larvae feeding needs, because as it has been shown by the mathematical model, at these stages the larvae would need a

very large amount of nauplii, higher than the load capacity of the culture tanks. Therefore, a supplementary diet should be used or *Artemia* nauplii should be replaced by larger preys. Supplying *Artemia* nauplii several times a day would be a palliative procedure.

2.5. References

- Alam, M.J., Ang, K.J., Begum, M., 1995. Replacement of *Artemia* with *Moina micrura* in the rearing of freshwater shrimp larvae. *Aquacult. Int.* 3, 243-248.
- Anger, K., 1990. Modelling developmental changes in the carbon and nitrogen budgets of larval brachyuran crabs. *Helgoländer Meeresunters.* 44, 53-80.
- Anger, K., 1991. Developmental changes in the bioenergetics of decapod larvae. *Memoirs of the Queensland Museum* 31, 289-308.
- Anger, K., Dietrich, A., 1984. Feeding rates and gross growth efficiencies in *Hyas araneus* L. larvae (Decapoda, Majidae) reared in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 77, 169-181.
- Anger, K., Harms, J., Püschel, C., Seeger, B., 1989. Physiological and biochemical changes during the larval development of a brachyuran crab reared under constant conditions in the laboratory. *Helgoländer Meeresunters.* 43, 225-244.
- Anger, K., Nair, K.K.C., 1979. Laboratory experiments on the larval development of *Hyas araneus* (Decapoda, Majidae). *Helgolander Wiss. Meeresunters.* 32, 36-54.
- Aquacop, 1983. Intensive larval rearing in clear water of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, Anuenue stock) at the Centre Océanologique du Pacifique, Tahiti. In: Mcvey, J.P., MOORE, J.R. (Eds.), *CRC Handbook of Mariculture, Crustacean Aquaculture*, Vol. 1, Florida, pp. 179-187.
- Barros, H.P., 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879), durante a fase larval. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura). Centro de Aqüicultura, UNESP, Jaboticabal, 100 pp.
- Barros, H.P., Valenti, W.C., 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea, Palaemonidae) durante a fase larval: análise qualitativa. *Revta bras. Zool.* 14, 785-793.

- Carlberg, J.M., Van Olst, J.C., 1976. Brine shrimp (*Artemia salina*) consumption by the larval zoeas of the American lobster (*Homarus americanus*) in relation to food density and water temperature. Proc. Annu. Meet. Maricult. Soc. 7, 379-389.
- Chu, K.H., Shing, C.K., 1986. Feeding behavior of the shrimp, *Metapenaeus ensis*, on *Artemia* nauplii. Aquaculture 58, 175-184.
- Correia, E.S., Suwannatous, S., New, M.B., 2000. Flow-through hatchery systems and management. In: New, M.B., Valenti, W.C. (Eds.), Freshwater prawn culture. Blackwell Science, Oxford, pp. 52-68.
- Daniels, W.H., D'abramo, L.R., De Parseval, L., 1992. Design and management of a closed, recirculating "clearwater" hatchery system for freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii*, De Man, 1879. J. Shellfish Res. 11, 65-73.
- Dawirs, R.R., Dietrich, A., 1986. Temperature and laboratory feeding rates in *Carcinus maenas* L. (Decapoda, Portunidae) larvae from hatching through metamorphosis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 99, 133-147.
- Emmerson, W.D., 1980. Ingestion, growth and development of *Penaeus indicus* larvae as a function of *Thalassiosira weissflogii* cell concentration. Mar. Biol. 58, 65-73.
- Emmerson, W.D., 1984. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii. Aquaculture 38, 201-209.
- Gopalakrishnan, K., 1976. Larval rearing of red shrimp, *Penaeus marginatus* (Crustacea). Aquaculture 9, 145-154.
- Holling, C.S., 1969. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. Can. Entomol. 91, 385-398.
- Jones, D.A.; Kamarudin, M.S., Le Vay, L., 1993. The potential for replacement of live feeds in natural culture. J. World Aquacult. Soc. 24, 199-210.
- Jones, D.A.; Yule, A.B., Holland, D., 1997. Larval nutrition. In: D'abramo, L.R.; Conklin, D.E.; Akyiama, D.M. (Eds.), Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture, Vol.6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 356-389.

- Kamarudin, M.S.; Jones, D.A.; Le Vay, L., Abidin, A.Z., 1994. Ontogenetic change in digestive enzyme activity during larval development of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 123, 323-333.
- Knight, W. 1968. Asymptotic growth: an example of nonsense disguised as Mathematics. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 25, 1303-1307.
- Kurmaly, K.; Jones, D.A.; Yule, A.B. and East, J., 1989. Comparative analyses of the growth and survival of *Penaeus monodon* (Fabricius) larvae, from protozoa 1 to post-larvae 1, on live feeds, artificial diets and on combination of both. *Aquaculture* 81, 27-45.
- Kurmaly, K.; Jones, D.A., Yule, A.B., 1990. Acceptability and digestion of diets fed to larval zoeas of *Homarus gammarus* and the role of dietary conditioning behaviour. *Mar. Biol.* 106, 181-190.
- Lavens, P.; Thongrod, S., Sorgeloos, P., 2000. Larval prawn feeds and the dietary importance of *Artemia*. In: New, M.B., Valenti, W.C. (Eds.) *Freshwater prawn culture*. Blackwell Science, Oxford, pp. 91-111.
- Levine, D.M., Sulkin, S.D., 1979. Partitioning and utilization of energy during the larval development of the xanthid crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 40, 247-257.
- Lin, X.T., Uno, Y., 1987. The experimental ecology on the feeding of *Macrobrachium rosenbergii* larvae in laboratory. *La mer* 25, 119-123.
- Loya-Javellana, G.N., 1989. Ingestion saturation and growth responses of *Penaeus monodon* larvae to food density. *Aquaculture* 81, 329-336.
- Meyers, S.P., Hagood, R.W., 1984. Flake diets and larval crustacean culture. *Prog. Fish. Cult.* 46, 225-229.
- Minagawa, M., Murano, M., 1993a. Effects of prey density on survival, feeding rate and development of zoeas of the red frog crab *Ranina ranina* (Crustacea, Decapoda, Raninidae). *Aquaculture* 113, 91-100.

- Minagawa, M., Murano, M., 1993b. Larval feeding rhythms and food consumption by the red frog crab *Ranina ranina* (Decapoda, Raninidae) under laboratory conditions. *Aquaculture* 113, 251-260.
- Mooler, T.H., 1978. Feeding behaviour of larvae and postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)(Crustacea, Palaemonidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 35, 251-258.
- Mootz, C.A., Epifanio, C.E., 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. *Biol. Bull.* 146, 44-55.
- Reeve, M.R., 1969. The laboratory culture of the prawn *Palaemon serratus*. *Fish. Invest.* 26, 1-38.
- Sick, L.V., Beaty, H., 1974. Culture techniques and nutrition studies for larval zoeas of the giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Techn. Rep. Ser.* 74-5, 32pp.
- Sorgellos, P., Léger, P., 1992. Improved larviculture outputs of marine fish, shrimp and prawn. *J. World. Aquacult. Soc.* 23, 251-264.
- Stickney, A.P., Perkins, H.C., 1981. Observations on the food of larvae of the northern shrimp, *Pandalus borealis* Kröyer (Decapoda, Caridea). *Crustaceana* 40, 36-49.
- Uno, Y., Kwon C. S., 1969. Larval development of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. *J. Tokyo Univ. Fish.* 55, 179-190.
- Valenti, W.C., Daniels, W.H., 2000. Recirculation hatchery systems and management. In: New, M.B., Valenti, W.C. (Eds.) *Freshwater prawn culture*. Blackwell Science, Oxford, pp. 69-90.
- Valenti, W.C.; Mallasen, M., Silva, C.A., 1998. Larvicultura em sistema fechado dinâmico. In: Valenti, W.C. (Ed.) *Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para a Produção de Camarões*. FAPESP e IBAMA, São Paulo e Brasília, pp. 112-139.
- Valiela, I., 1984. *Marine Ecological Processes* (Springer advanced text in life Sciences). Springer-Verlag New York, Inc., New York, 546 pp.

- Wienberg, R., 1982. Studies on the influence of temperature, salinity, light, and feeding rate on laboratory reared larvae of deep sea shrimp, *Pandalus borealis* Krøyer 1838. *Meeresforschung* 29, 136-153.
- Yúfera, M., Rodríguez, A., 1985a. Effect of prey density on feeding rates during larval rearing of *Palaemon serratus* Pennant (Crustacea, Palaemonidae). *Aquaculture* 50, 31-38.
- Yúfera, M., Rodríguez, A., 1985b. Tasas de alimentación y crecimiento de *Palaemonetes varians* (Crustacea: Palaemonidae) durante el desarrollo larvario. *Invest. Pesq.* 49, 597-606.
- Yúfera, M., Rodríguez, A., 1987. Aspectos metodológicos sobre el cálculo de las tasas de consumo de alimento en larvas de Decápodos. *Invest. Pesq.* 51, 561-569.
- Yúfera, M.; Rodríguez, A., Lubian, L.M., 1984. Zooplankton ingestion and feeding behavior of *Penaeus kerathurus* larvae reared in the laboratory. *Aquaculture* 42, 217-224.
- Zhang, D.; Lin, J., Creswell, R.L., 1998. Ingestion rate and feeding behavior of the peppermint shrimp *Lysmata wurdemanni* on *Artemia* nauplii. *J. World Aquac. Soc.* 29, 97-107.

3. Aceitação de alimento por *Macrobrachium rosenbergii* durante o desenvolvimento larval.

Resumo

A frequência de aceitação de alimento (FAA) por larvas de *M. rosenbergii* foi utilizada como medida para determinar o tamanho de partícula e o tipo de alimento mais adequados para cada estágio de desenvolvimento. Foram testados quatro classes de tamanho de partículas (250-425; 425-710; 710-1000 e 1000-1190 μm) de dois tipos de ração (seca e úmida). Verificou-se também a frequência de aceitação das duas rações e de náuplios de *Artemia* em cada estágio larval. A frequência de aceitação foi obtida pela avaliação qualitativa da ingestão de cada alimento pelas larvas por meio da observação do trato digestório das mesmas sob estereomicroscópio. Não houve relação significativa ($P < 0,01$) entre o tamanho das partículas na frequência de aceitação das rações pelas larvas no decorrer do desenvolvimento. Náuplios de *Artemia* foram significativamente mais ingeridos por larvas entre os estágios II e VII; aceitação similar para a ração úmida e seca foi obtida a partir dos estágios VII e IX, respectivamente. Verificou-se que o alimento inerte foi capturado e ingerido por mais de 50% das larvas apenas a partir dos estágios VII (ração úmida) e VIII (ração seca). Nossos resultados indicam que a complementação da dieta com alimento inerte deve se iniciar a partir do estágio VII.

Palavras-chave: alimento; ração; larva; *Artemia*; *Macrobrachium*.

3.1. Introdução

O sucesso do cultivo comercial de larvas de *Macrobrachium rosenbergii* e de outros decápodes depende da utilização eficiente e econômica de alimentos disponíveis (Yúfera et al. 1984; Freeman 1990). A dependência por alimentos vivos dificulta a definição de um manejo alimentar adequado nessa fase (Jones et al. 1997).

Náuplios recém-eclodidos de *Artemia* constituem-se no principal alimento vivo utilizado na larvicultura de espécies de crustáceos de valor comercial. Apesar das vantagens que esse microcrustáceo oferece, tais como facilidade de manejo e alto teor protéico (Emmerson 1984), o limitado número de sítios de produção de cistos e a estreita relação entre produtividade e condições climáticas têm causado oscilação na sua disponibilidade (Lavens et al. 2000). A vulnerabilidade do estoque e da qualidade dos cistos em termos de taxa de eclosão e valor nutricional, somadas ao grande crescimento da carcinicultura mundial, têm elevado consideravelmente o preço dos cistos (Lavens et al. 2000), tornando a alimentação um dos itens mais onerosos aos produtores.

Alguns autores afirmam que o uso de náuplios de *Artemia* é suficiente para a produção de pós-larvas de *M. rosenbergii* (Devresse et al. 1990; Lavens et al. 2000). No entanto, outros acreditam que estes não suprem todas as necessidades nutricionais das larvas nos últimos estágios de desenvolvimento e recomendam o fornecimento de dieta complementar (Daniels et al. 1992; Alam et al. 1995b; New 1995; Valenti et al. 1998; Valenti e Daniels 2000). Por esses motivos, vários alimentos alternativos, tanto vivos como inertes, vêm sendo pesquisados com o objetivo de complementar ou substituir os náuplios de *Artemia* na larvicultura de crustáceos (Sick e Beaty, 1974; Murai e Andrews 1978; Aniello e Singh 1982; Meyers e Hagood 1984; Jones et al. 1987; Lovett e Felder, 1988; Kurmaly et al. 1989; Samocha et al. 1989; Alam et al. 1995a e 1995b; Silva e Rodrigues 1997). Enquanto que larvas de peneídeos apresentaram taxas de sobrevivência e tempo de desenvolvimento larval satisfatórios quando cultivadas com rotíferos ou dietas microencapsuladas, o cultivo larval de *M. rosenbergii* não se mostrou

favorável com a substituição de náuplios de *Artemia* por outro tipo de alimento (Lavens et al. 2000).

Alguns autores atribuem a baixa eficiência de alimentos inertes ao limitado conhecimento sobre as necessidades nutricionais das larvas e, conseqüentemente, ao fato destes se apresentarem nutricionalmente inadequados (Jones et al. 1979a e 1979b; Wilckenfeld et al. 1984; Sorgellos e Léger 1992). Porém, o sucesso de dietas para manutenção larval de crustáceos depende de outros fatores além da qualidade nutricional. Antes que os nutrientes essenciais possam ser avaliados completamente, todos os processos comportamentais, mecânicos e fisiológicos que ocorrem durante a alimentação devem ser conhecidos (Jones et al. 1997). O alimento deve ser aceito, capturado e ingerido pelas larvas de forma adequada. Assim, aspectos como tamanho, consistência, textura e densidade das partículas do alimento inerte oferecido podem influenciar a seleção e conseqüente ingestão do mesmo pelos animais.

Atualmente, a maioria das larviculturas comerciais de *M. rosenbergii* utiliza náuplios recém-eclodidos de *Artemia* durante todo o ciclo larval e ração úmida (conhecida como creme de ovos) ou seca como complementação (Correia et al. 2000; Valenti e Daniels 2000; Lavens et al. 2000). Entretanto, as dietas e o manejo utilizados são derivados de observações empíricas, uma vez que o comportamento alimentar e as necessidades nutricionais das larvas são pouco conhecidos (Valenti e Daniels 2000).

Alguns autores reportaram que o tamanho das partículas inertes é específico e crítico para cada estágio larval (Aquacop 1977; Corbin et al. 1983; New e Shilgolka 1985; Daniels et al. 1992; New 1995). Inversamente, outros verificaram a captura e a ingestão de partículas de vários tamanhos, em todos os estágios (Sick e Millikin 1983; Barros 1997).

Além da adequação das características físicas do alimento para as larvas, a maximização da eficiência alimentar depende do estabelecimento de regimes alimentares específicos para cada estágio de desenvolvimento (Valenti e Daniels 2000). Vários esquemas de alimentação são utilizados na manutenção larval de *M. rosenbergii*,

dependendo, principalmente, do sistema de cultivo empregado. Entretanto, há grande controvérsia entre os pesquisadores na recomendação do estágio a partir do qual a alimentação suplementar à *Artemia* deva ser fornecida.

O conhecimento do tamanho adequado da partícula e do estágio no qual o alimento inerte é aceito pelas larvas, em proporções semelhantes ao alimento vivo, é de grande importância. A sobra de ração ocasiona acúmulo de material orgânico, que pode causar a proliferação de bactérias e conseqüente aparecimento de doenças, bem como aumento de mão-de-obra na limpeza do tanque e manejo para manutenção da qualidade da água e saúde dos animais (Valenti e Daniels 2000).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aceitação de diferentes tipos de alimento pelas larvas de *M. rosenbergii* em cada estágio de desenvolvimento. Inicialmente, determinou-se o tamanho adequado de partículas de dois tipos de ração (seca e úmida) na alimentação das larvas. Numa segunda etapa, verificou-se a freqüência de aceitação das duas rações e de náuplios de *Artemia* em cada estágio larval. Os resultados obtidos a partir das duas etapas experimentais permitiram estipular tanto o tamanho das partículas inertes quanto o tipo de alimento mais adequado para cada estágio larval.

3.2. Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro de Aqüicultura da UNESP, no Laboratório de Biologia de Crustáceos (UNESP, Jaboticabal), em sala com temperatura controlada, mantida ao redor de 29°C. As larvas utilizadas foram provenientes de fêmeas ovadas de *M. rosenbergii* obtidas no viveiro de reprodutores do Setor de Carcinicultura do CAUNESP. Para a realização de cada experimento, foi instalada uma larvicultura com o objetivo de servir de estoque para o fornecimento de larvas nos diferentes estágios de desenvolvimento. Larvas recém-eclodidas foram estocadas em um tanque cilíndrico, de fundo cônico, com capacidade para 120 L, provido de sistema fechado de circulação de água e aquecimento. A densidade foi de aproximadamente 90 indivíduos/L e a salinidade da água foi mantida ao redor de 12 ‰. As principais variáveis da água (temperatura, pH, amônia, nitrito e oxigênio dissolvido) foram monitoradas e mantidas dentro da faixa recomendada por Valenti et al. (1998) e Correia et al. (2000). As larvas foram alimentadas com ração seca e ração úmida (creme de ovos), fornecidas às 08:00 e às 11:00 h, e náuplios recém-eclodidos de *Artemia*, fornecidos *ad libitum* ao entardecer, durante todo o ciclo.

Foi estudada a freqüência de aceitação de alimento (FAA) vivo e inerte por larvas de *M. rosenbergii* em cada estágio de desenvolvimento. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, foram testados quatro classes de tamanhos de partículas de ração seca e de ração úmida. No segundo, verificou-se a FAA de náuplios recém-eclodidos de *Artemia* e das duas rações (seca e úmida), que apresentam formulação, cor e consistência diferentes. Os testes não foram realizados com larvas no estágio I, uma vez que estas não se alimentam, mesmo quando há disponibilidade de alimento (Mooler 1978; Barros e Valenti 1997). A identificação dos diferentes estágios larvais foi feita de acordo com Uno e Kwon (1969).

3.2.1. Preparo dos alimentos inertes

3.2.1.1. Ração seca

A ração seca contém mais de 90% de matéria seca, apresenta cor vermelha escura (devido à inclusão do óxido de ferro) e consistência rígida. Os ingredientes utilizados na preparação da ração seca foram escolhidos por serem comuns na formulação de dietas em aqüicultura. Os farelos de milho, de trigo e de soja e a farinha de peixe foram adquiridos no comércio, enquanto a farinha de camarão foi preparada no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do CAUNESP.

A composição e o valor nutritivo da ração seca encontram-se na Tabela 1. A análise bromatológica foi realizada no Laboratório de Bromatologia, Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da FMVZ, UNESP, Botucatu, segundo as normas da AOAC - Association of Official Agricultural Chemists (1984).

Após o cálculo da quantidade necessária de cada ingrediente para o preparo da ração, estes foram moídos, pesados e homogeneamente misturados, acrescentando-se óxido de ferro (Fe_2O_3) na proporção de 1% do peso seco. A inclusão do óxido de ferro foi adotada para facilitar a observação da ração ingerida no trato digestivo dos animais. Adicionou-se, então, um pouco de água à mistura até que se transformasse em uma pasta. Esta foi levada para secagem em estufa (a 60°C) por 24 h, triturada e passada através de uma bateria de peneiras de malhas de diferentes aberturas, obtendo-se partículas em quatro classes de tamanho: 250 – 425, 425 – 710, 710 – 1.000, 1.000 – 1.190 μm .

TABELA 1 - Composição e valor nutritivo da ração seca (com base em 100% de matéria seca).

Ingredientes	%
farelo de milho	8,0
farelo de trigo	12,0
farelo de soja	22,0
farinha de peixe	27,0
farinha de camarão	30,0
suplemento vitamínico e mineral ¹	1,0
Total	100,0
Análise aproximada	%
proteína bruta	43,42
extrato etéreo	6,14
fibra bruta	-
extrativo não-nitrogenado	28,83
matéria mineral	11,89
Matéria seca original (%)	90,28
Energia bruta (kcal/kg)	4.213,39

¹ Agromix AC 50 – suplemento vitamínico-mineral, contendo por kg: Vitamina A – 176.000 U.I., Vitamina D₃ – 40.000 U.I., Vitamina E – 500 mg, Vitamina K₃ – 36 mg, Vitamina B₁₂ – 560 mg, Niacina – 700 mg, Biotina – 3 mg, Ácido Pantotênico – 500 mg, Ácido Fólico – 30 mg, Colina – 20 mg, Ferro – 1.100 mg, Cobre – 300 mg, Manganês – 1.800 mg, Zinco – 1.200 mg, Iodo – 24 mg, Selênio – 3 mg, Metionina – 20 mg, Cálcio – 176 mg, Fósforo – 68 g, Sódio – 23 g, Cloro – 36 g, Promotor de crescimento – 2 g, Coccidiostático – 10 g, Antifúngico – 200 mg, B.H.T. – 1 g, Veículo energético e protéico (q.s.p.) – 1.000 g.

3.2.1.2. Ração úmida

Essa ração, conhecida como creme de ovos, constitui-se um dos principais alimentos utilizados como complementação da dieta de larvas de *M. rosenbergii* (Valenti & Daniels 2000). Apresenta teor de matéria seca inferior a 20%, coloração amarelada e consistência macia.

A Tabela 2 apresenta a composição e análise da ração úmida realizada no

Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Nutrição Animal e Pastagens da FCAVJ, UNESP, segundo as normas da AOAC (1984).

TABELA 2 - Composição e valor nutritivo da ração úmida (com base em 100% de matéria seca).

Ingredientes	%
ovo de galinha homogeneizado	34,0
carne de molusco	10,0
filé de peixe	10,0
leite em pó	4,0
farinha de trigo	2,0
óleo de fígado de bacalhau	0,8
suplemento vitamínico e mineral ¹	1,4
água	37,8
Total	100,0
Análise aproximada	Peso seco (%)
proteína bruta	45,07
extrato etéreo	22,55
fibra bruta	-
extrativo não-nitrogenado	23,55
matéria mineral	8,83
Matéria seca original (%)	18,29
Energia bruta (Kcal/Kg)	4.989,20

¹ Agromix AC 50 – suplemento vitamínico-mineral – composição descrita na Tabela 1.

Após a pesagem, os ingredientes foram batidos no liquidificador, formando um creme. Este foi colocado em uma fôrma e cozido em banho-maria, até ficar com a consistência de um pudim. Após esfriar, foi cortado em pequenos pedaços, que foram embrulhados individualmente em filme de polietileno e, então, congelados em freezer a -18°C. Na ocasião do fornecimento para as larvas, os pedaços retirados do freezer foram submetidos a jatos d'água e transformados em pequenas partículas. Para obtenção dos

diferentes tamanhos, estas foram passadas por uma bateria de peneiras, conforme descrito anteriormente para a preparação da ração seca.

3.2.2. Determinação da frequência de aceitação de ração seca e úmida em diferentes tamanhos de partículas

A frequência de aceitação (FAA) de cada ração fornecida em diferentes tamanhos de partículas foi obtida por meio da avaliação qualitativa da ingestão das mesmas pelas larvas. Para cada estágio de desenvolvimento larval (II ao XI), foram testados quatro classes de tamanhos de partículas de cada ração: 250 – 425, 425 – 710, 710 – 1.000, 1.000 – 1.190 μm . O delineamento experimental foi totalmente casualizado, em esquema fatorial 2x4x10 (tipo de ração x tamanho de partícula x estágio larval), com três repetições.

Para a realização dos testes, cinco larvas do mesmo estágio de desenvolvimento foram colocadas em béqueres de 100 mL, contendo 80 mL de água salobra proveniente do tanque de larvicultura. Esta foi previamente filtrada em tela de nylon de malha 125 μm . Os béqueres foram colocados em uma caixa subdividida em 12 compartimentos forrados com polietileno preto. Cada béquer foi provido de aeração suficiente para manter a ração em suspensão. Após o período de duas horas em jejum, as larvas foram alimentadas de acordo com as respectivas condições experimentais. As rações foram fornecidas *ad libitum*.

Os animais permaneceram em contato com o alimento por 30 minutos. Após esse período, as larvas foram retiradas do béquer, com uma pipeta Pasteur, e colocadas em placas de Petri. O trato digestivo de cada animal foi analisado sob estereomicroscópio e o número de larvas que haviam se alimentado foi anotado. Calculou-se a frequência de aceitação (FAA) absoluta e relativa de cada alimento para cada estágio larval.

Para a determinação de variações entre os dez estágios de desenvolvimento (II a XI) e entre os tratamentos, os valores médios da frequência de aceitação foram comparados por análise de variância (teste F), seguida pelo Teste de Tukey.

3.2.3. Determinação da frequência de aceitação de náuplios de *Artemia*, ração seca e ração úmida

A frequência de aceitação (FAA) de alimento vivo (náuplios recém-eclodidos de *Artemia*) e inerte (ração seca e ração úmida) em cada estágio de desenvolvimento larval foi verificada por meio da análise qualitativa de ingestão de cada um dos alimentos. As rações foram fornecidas em partículas de 1000 – 1190 μm de tamanho, uma vez que, no experimento anterior, verificou-se que o tamanho da partícula não influencia a taxa de ingestão. O delineamento experimental foi totalmente casualizado, em esquema fatorial 2x10 (tipo de alimento x estágio larval), com sete repetições.

Dez larvas do mesmo estágio de desenvolvimento foram colocadas em béqueres, contendo 500 mL de água salobra proveniente do tanque de larvicultura. Esta foi previamente filtrada em tela de nylon de malha 125 μm . Os béqueres foram envoltos em filme de polietileno preto e providos de aeração. Após o período de duas horas em jejum, os alimentos foram fornecidos *ad libitum* para as larvas. Cada um dos alimentos foi testado separadamente, utilizando-se lotes diferentes de larvas.

Após 45 minutos em contato com o alimento, as larvas foram retiradas do béquer com uma pipeta Pasteur e colocadas em placas de Petri. O trato digestivo de cada animal foi analisado sob estereomicroscópio, anotando-se, então, o número de larvas que haviam se alimentado em cada tratamento. A frequência relativa de aceitação (FAA) de cada ítem alimentar para cada estágio de desenvolvimento larval foi calculada.

Para verificar se a aceitação está associada aos diferentes tipos de alimento e aos vários estágios larvais, os valores obtidos foram comparados por análise de variância (teste F), seguida pelo Teste de Tukey.

3.3. Resultados

Os valores médios da temperatura da água do tanque de manutenção dos dois ciclos realizados foram 28,9 e 30°C. A salinidade média foi 13,6 e 12,9‰; o pH foi 8,3 e 7,9; a amônia e o nitrito variaram entre 0,0 – 0,1 mg/L e a intensidade luminosa ficou ao redor de 200 lux. O oxigênio dissolvido se apresentou próximo do ponto de saturação. Assumiu-se que a água dos béqueres apresentou as mesmas características.

3.3.1. Determinação da freqüência de aceitação de ração seca e úmida em diferentes tamanhos de partículas

A Figura 1 apresenta a variação da freqüência de aceitação das quatro classes de tamanho de partículas de ração seca e ração úmida ao longo do desenvolvimento ontogenético. Não se evidenciou preferência por um tamanho determinado em cada um dos estágios. As diferenças nas freqüências de aceitação devido aos diferentes alimentos e aos estágios larvais foram significativas ($P < 0,01$), porém a interação entre o tamanho das partículas e os estágios não foi significativa, tanto da ração seca como da úmida. Verificou-se maior aceitação de alimento inerte por larvas nos últimos estágios de desenvolvimento (VII – XI, para a ração úmida e IX – XI, para a ração seca). Houve um aumento gradativo na aceitação da ração seca a partir do estágio VIII. Por outro lado, observou-se um aumento brusco na FAA da ração úmida no estágio VII; a partir daí, esta foi ingerida por mais de 70% das larvas.

3.3.2. Determinação da freqüência de aceitação de náuplios de *Artemia*, ração seca e ração úmida

A FAA de náuplios de *Artemia* apresentou pouca variação durante o desenvolvimento larval, com valores entre 70 e 100%. Esta foi significativamente maior do que a obtida para os alimentos inertes entre os estágios II e VI. Entre os estágios VII e XI, as FAA dos náuplios e da ração úmida foram similares; a aceitação da ração seca foi semelhante à do alimento vivo entre os estágios IX e XI (Figura 2).

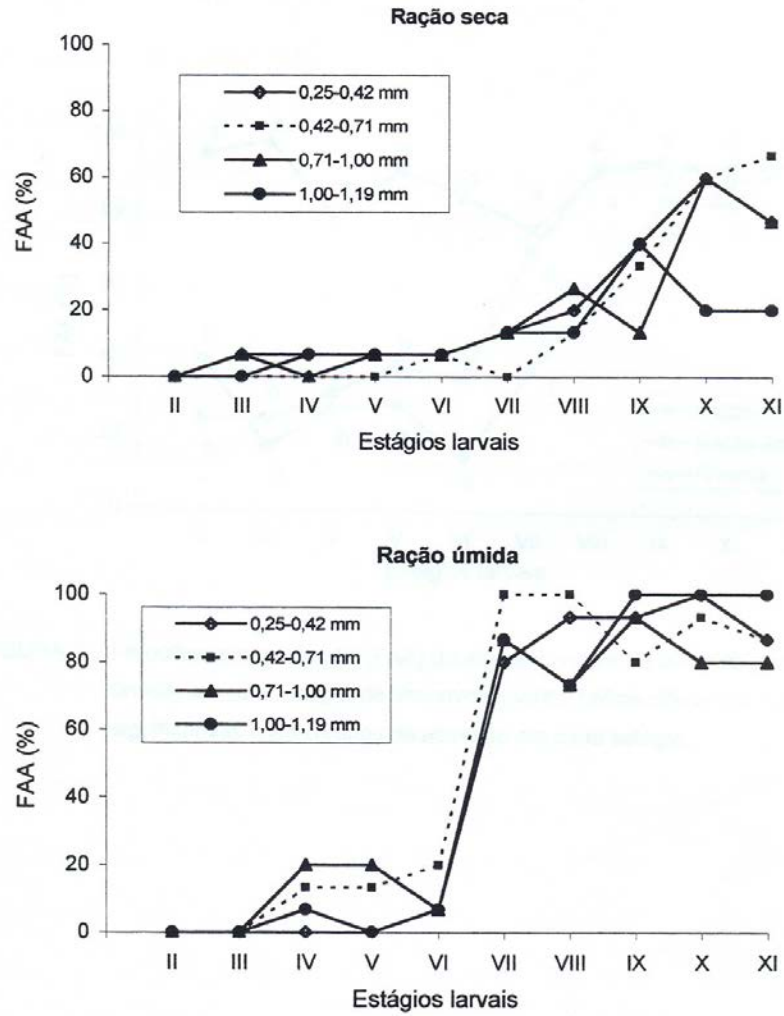


FIGURA 1 - Frequência de aceitação (FAA) dos diferentes tamanhos de partículas da ração seca e ração úmida em cada estágio de desenvolvimento.

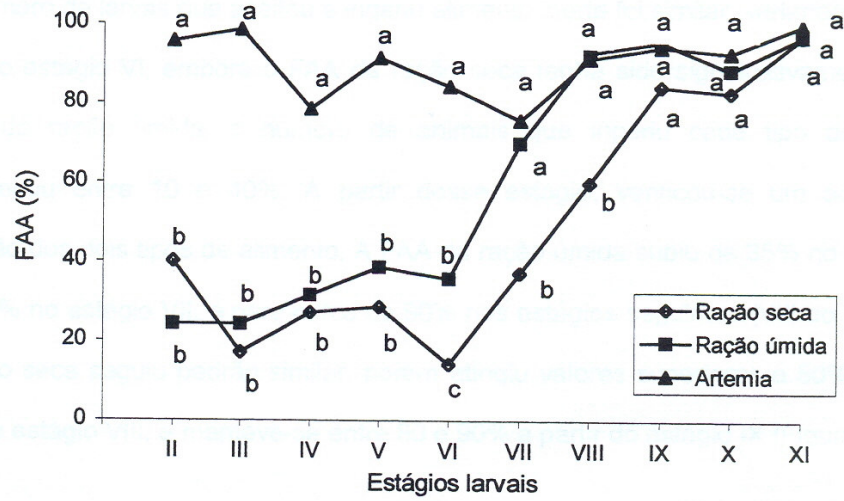


FIGURA 2 - Frequência de aceitação (FAA) do alimento vivo e de alimento inerte (ração seca e úmida) em cada estágio de desenvolvimento. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de alimento em cada estágio.

Observou-se um padrão de variação semelhante da frequência de aceitação das duas rações no decorrer do desenvolvimento larval (Figura 2). Nos estágios iniciais (II ao V) o número de larvas que aceitou e ingeriu alimento inerte foi similar, variando entre 15 e 40%. No estágio VI, embora a FAA da ração seca tenha sido significativamente menor que a da ração úmida, o número de animais que ingeriu cada tipo de alimento permaneceu entre 10 e 40%. A partir desse estágio, verificou-se um aumento na aceitação dos dois tipos de alimento. A FAA da ração úmida subiu de 35% no estágio VI, para 70% no estágio VII, e para cerca de 90% nos estágios seguintes (VIII ao XI). A FAA da ração seca seguiu padrão similar, porém atingiu valores superiores a 50% apenas a partir do estágio VIII, e manteve-se entre 80 e 90% a partir do estágio IX (Figura 2).

3.4. Discussão

Larvas de *Macrobrachium rosenbergii* aceitam indistintamente alimento inerte de tamanhos variados. Partículas entre 250 e 1190 µm podem ser capturadas e ingeridas sem nenhuma preferência (Figura 1). Isto indica que a prática comum de variar o tamanho das partículas de ração no decorrer do desenvolvimento larval (Corbin et al. 1983; New e Shingholka 1985; Daniels et al. 1992; Alam et al. 1993; Correia e Castro 1998; Valenti et al. 1998) é desnecessária. Provavelmente a larva pode “quebrar” o alimento com seus apêndices bucais em pedaços compatíveis com sua capacidade de ingestão. Estudos com outras espécies de crustáceos decápodes, tais como *Penaeus marginatus* (Gopalakrishnam 1976), *Penaeus monodon* (Jones et al. 1979a; Kurmaly et al. 1989), *Penaeus indicus* (Emmerson 1984), *Penaeus kerathurus* (Yúfera et al. 1984), *Penaeus vannamei* e *P. stylirostris* (Jones et al. 1987) e *Penaeus semisulcatus* (Samocho et al. 1989) têm mostrado que partículas de tamanhos muito variados são ingeridas pelas larvas. As diferenças nas FAA entre as duas rações com mesmo tamanho de partícula observadas no presente trabalho a partir do estágio VII (Figuras 1 e 2) indica que a cor, consistência e composição da ração podem ser fatores de maior importância na aceitação do alimento do que o tamanho.

Comparando-se os resultados obtidos nos dois experimentos, verificou-se que, no primeiro, o alimento inerte foi aceito a partir dos estágios III (ração seca) e IV (ração úmida). Porém, no experimento 2, além da aceitação das rações ocorrer a partir do estágio II, os valores da FAA foram maiores. Esse fato pode ser explicado pela diferença da metodologia empregada. O volume de água utilizado no experimento 2 (500 mL) proporcionou maior dispersão das partículas, que permaneceram por mais tempo em suspensão, aumentando a oportunidade de encontro das mesmas com as larvas.

Larvas de *M. rosenbergii* ingerem tanto alimento vivo como inerte a partir dos primeiros estágios de desenvolvimento (Figuras 1 e 2). Entretanto, somente a partir dos estágios VII e VIII, mais do que 50% das larvas ingeriram ração úmida e seca,

respectivamente (Figura 2). A habilidade para utilizar material inerte tem considerável importância ecológica, não apenas como suprimento adicional à dieta, quando há baixa concentração de zooplâncton, mas pelo fato de proporcionar melhor diversidade bioquímica para as necessidades nutricionais das larvas (Harms e Seeger 1989). Larvas a partir do estágio VII estariam mais aptas a explorar os recursos alimentares do meio ambiente e, possivelmente, apresentem maior exigência nutricional.

A FAA das rações foi baixa até o estágio VI. A partir do estágio VII, a ração úmida é aceita por mais de 50% das larvas e a FAA não difere da obtida para náuplios de *Artemia*. Esses resultados podem ser explicados por mudanças na capacidade de percepção do alimento e/ou nas características morfo-fisiológicas das larvas no decorrer do desenvolvimento. No início (estágios II – VI), a mecanorrecepção parece ser o principal mecanismo utilizado para a detecção do alimento (Barros e Valenti 1997). A motilidade dos náuplios favorece a sua permanência na coluna d'água, aumentando a chance de encontro e, conseqüentemente, a taxa de ingestão larval. Além disso, larvas nos estágios iniciais (I – III) apresentam mandíbulas características de larvas carnívoras (Jones et al. 1997). Com o desenvolvimento, a dentição mandibular aumenta, porém os dentes tornam-se progressivamente mais arredondados, indicando o início da mudança de hábito alimentar para omnívoro (Jones et al. 1997). O desenvolvimento do trato digestório e o aumento da atividade enzimática que ocorre a partir do estágio VI (Kamarudin et al. 1994 ; Kumlu e Jones 1995) também pode explicar a maior aceitação do alimento inerte, uma vez que o processo de digestão torna-se completamente funcional. De acordo com Agard (1999), o início da alimentação ativa ocorre a partir do estágio V¹, (de acordo com a descrição de Gomez Diaz e Kasahara, 1987, correspondente ao estágio VI descrito por Uno e Kwon, 1969), quando se esgota a reserva vitelínica e o trato digestório está completamente formado. O aumento da atividade específica da amilase a partir dos estágios VII – VIII (Kamarudin et al. 1994) indica a

¹ Agard (1999) utilizou a descrição dos estágios larvais de *M. rosenbergii* realizada por Gomez Diaz e Kasahara (1987), que identificaram 17 estágios larvais no decorrer do desenvolvimento.

mudança de hábito alimentar das larvas de carnívoro para omnívoro, coincidindo com a maior aceitação de alimento inerte verificada no presente trabalho. Alam et al. (1995b) apontaram maior importância do alimento inerte na larvicultura de *M. rosenbergii* do estágio VI em diante.

A maior aceitação de ração úmida em relação à seca verificada nos estágios VI VII e VIII poderia indicar preferência das larvas por partículas claras e de consistência macia. Meyers e Hagood (1984) observaram que as partículas de dietas floculadas com cores claras foram preferidas por larvas de *M. rosenbergii* em relação às escuras a partir do estágio IV. Os baixos valores de FAA da ração seca sugerem maior dificuldade de manuseio e ingestão de partículas mais rígidas. Por outro lado, a ração úmida apresenta partículas com características físicas mais semelhantes aos náuplios de *Artemia*. Segundo Dall e Moriarty (1983), as dietas artificiais devem ter a forma e o estado físico e tátil da dieta natural. De forma similar ao obtido no presente trabalho para *M. rosenbergii*, Pillai e Mohamed (1973) verificaram que náuplios de *Artemia* foram rapidamente aceitos por larvas de *Macrobrachium idella* em todos os estágios, sendo o material seco pouco aceito e a carne fresca de camarão bem aceita a partir do estágio IV de desenvolvimento.

Nos estágios finais (IX – XI), as larvas de *M. rosenbergii* alimentam-se indistintamente de ração seca, ração úmida e *Artemia*. O animal torna-se mais generalista e omnívoro, consumindo o alimento de acordo com a disponibilidade. Portanto, a ampliação do espectro alimentar por larvas mais desenvolvidas pode ser decorrente da maior necessidade de nutrientes para o preparo para a metamorfose. Por outro lado, isto poderia indicar, ainda, maior desenvolvimento da capacidade de percepção do alimento.

A determinação do estágio inicial para introdução do alimento inerte no sistema de cultivo é um aspecto importante do ponto de vista prático e econômico. O alimento inerte tem sido oferecido às larvas de *M. rosenbergii* em diferentes estágios de desenvolvimento. New e Shingholka (1985) recomendam o fornecimento de creme de ovos a partir do estágio III. Carvalho F^o e Mathias (1998) indicam alimentação

complementar a partir dos estágios IV – V. Aquacop (1983) e Daniels et al. (1992) recomendam suplementação da dieta com alimento inerte a partir dos estágios V – VI e Valenti et al. (1998) sugerem adição de ração úmida entre os estágios VI – VII. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho indicam que apenas após o estágio VII o alimento inerte é satisfatoriamente aceito pelas larvas. Assim, o fornecimento de ração em estágios anteriores ao estágio VII resulta em desperdício, aumentando os custos de produção, além de prejudicar a qualidade da água.

A substituição total do alimento vivo pelas rações úmida e seca pode ser viável a partir dos estágios VII e IX, respectivamente, pois a FAA não difere daquela obtida para os náuplios de *Artemia* e as larvas já apresentam sistema de enzimas digestivas completo (Kamarudin 1994; Kumlu e Jones 1995; Jones et al. 1997), prescindindo das enzimas exógenas. Entretanto, é necessário avaliar os resultados finais de sobrevivência e produtividade com a aplicação desse manejo alimentar em sistemas comerciais. Os gastos com mão-de-obra também devem ser avaliados, pois o número de arraçoamentos com o fornecimento de alimento inerte deverá ser maior, bem como o tempo gasto para a limpeza dos tanques de cultivo.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se um manejo alimentar no qual as larvas de *M. rosenbergii* sejam alimentadas exclusivamente com náuplios de *Artemia* até o estágio VI; nos estágios VII e VIII, a dieta deve ser complementada com ração úmida e, a partir do estágio IX até o final do desenvolvimento, a complementação deve ser feita com ração úmida ou seca, conforme as condições do produtor.

3.5. Referências

- Agard, J.B.R. 1999. A four-dimensional response surface analysis of the ontogeny of physiological adaptation to salinity and temperature in larvae of the palaemonid shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 236:209-233.
- Alam, M. J., K. J. Ang and M. Begum. 1995a. Replacement of *Artemia* with *Moina micrura* in the rearing of freshwater shrimp larvae. *Aquaculture International* 3:243-248.
- Alam, M. J., K. J. Ang and M. Begum. 1995b. Use of egg custard augmented with cod liver oil and *Moina micrura* on production of freshwater prawn postlarvae. *Aquaculture International* 3:249-259.
- Alam, M. J., K. J. Ang and S.H. Cheah. 1993. Use the *Moina micrura* (Kurz) as an *Artemia* substitute in the production of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) post-larvae. *Aquaculture* 109:337-349.
- Aniello, M. S. and T. Singh. 1982. Some studies on the larviculture of the giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). Pages 225-232 in New, M.B., editor. *Giant Prawn farming. Developments in aquaculture and fisheries science*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1984. *Official methods of analyses*, 14th ed., AOAC, Arlington, VA, USA.
- Aquacop. 1977. *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) culture in Polynesia: progress and development a mass intensive larval rearing in clear water. *Proceedings of the World Mariculture Society* 8:311-319.
- Aquacop. 1983. Intensive larval rearing in clear water of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, Anuenue Stock) of the Centre Océanologique du Pacifique, Tahiti. Pages 179-187 in J. P. McVey and J. R. Moore, editors. *CRC Handbook of Mariculture (Crustacean Aquaculture)*, CRC Press, Boca Raton.

- Barros, H. P. 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879), durante a fase larval. Dissertação de Mestrado. Centro de Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- Barros, H. P. and W. C. Valenti. 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)(Crustacea, Palaemonidae) durante a fase larval: análise qualitativa. *Revista Brasileira de Zoologia* 14:785-793.
- Carvalho Filho, J. and M. A.C. Mathias. 1998. Larvicultura em sistema fechado estático. Pages 95-113 in W. C. Valenti, editor. *Carcinicultura de água doce: tecnologia para produção de camarões*, FAPESP, São Paulo e IBAMA, Brasília, Brasil.
- Corbin, J. S., M. M. Fujimoto and T. Y. Iwai Jr. 1983. Feeding practices and nutritional considerations for *Macrobrachium rosenbergii* culture in Hawaii. Pages 391-442 in J. P. McVey and J. R. Moore, editors. *CRC Handbook of Mariculture (Crustacean Aquaculture)*, CRC Press, Boca Raton.
- Correia, E. S. and P. F. Castro. 1998. Larvicultura em sistema aberto. Pages 77-94 in W. C. Valenti, editor. *Carcinicultura de água doce: tecnologia para produção de camarões*, FAPESP, São Paulo e IBAMA, Brasília, Brasil.
- Correia, E. S., S. Suwannatous and M. B. New. 2000. Flow-through hatchery systems and management. Pages 52-68 in M. B. New and W. C. Valenti, editors. *Freshwater prawn culture*, Blackwell Science, Oxford, England.
- Dall, W. and D. J. W. Moriarty. 1983. Functional aspects of nutrition and digestion. Pages 215-26 in D. E. Bliss and L. H. Mantel, editors. *The biology of Crustacea*, Academic Press, New York, EUA.
- Daniels, W. H., L. R. D'Abramo and L. D. Parseval. 1992. Design and management of a closed, recirculating 'clearwater' hatchery system for freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879. *Journal of Shellfish Research* 11:65-73.
- Devresse, B., M. S. Romdhane, M. Buzzi, J. Rasowo, P. Léger, J. Brown and P. Sorgeloos. 1990. Improved larviculture outputs in the giant freshwater prawn

- Macrobrachium rosenbergii* fed a diet of *Artemia* enriched with n-3 HUFA and phospholipids. *World Aquaculture* 21:123-125.
- Emmerson, W.D. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii. *Aquaculture* 38:201-209.
- Freeman, J.A. 1990. Regulation of tissue growth in crustacean larvae by feeding regime. *Biological Bulletin of Marine Biology Laboratory Woods Hole* 178:217-221.
- Gomez Diaz, G. and Kasahara, S. 1987. The morphological development of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) larvae. *Journal of the Faculty of Applied Biology Science* 26:43-56.
- Gopalakrishnam, K. 1976. Larval rearing of red shrimp, *Penaeus marginatus* (Crustacea). *Aquaculture* 9:145-154.
- Harms, J. and B. Seeger. 1989. Larval development and survival in seven decapod species (Crustacea) in relation to laboratory diet. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 133:129-139.
- Jones, D.A., A. Kanazawa, and S. Abdel Rahaman. 1979a. Studies on the presentation of artificial diets for rearing the larvae of *Penaeus japonicus* Bate. *Aquaculture* 17: 33-43.
- Jones, D.A., A. Kanazawa, and K. Ono. 1979b. Studies on the nutritional requirements of the larval stages of *Penaeus japonicus* using microencapsulated diets. *Marine Biology* 54:261-267.
- Jones, D. A., K. Kurmaly and A. Arshard. 1987. Penaeid shrimp hatchery trials using microencapsulated diets. *Aquaculture* 64:133-146.
- Jones, D. A., A. B. Yule and D. L. Holland. 1997. Larval nutrition. Pages 356-389 in L. R. D'Abramo, D. E. Coklin and D. M. Akiyama, editors. *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Kamarudin, M. S., D. A. Jones, L. Vay and A. Z. Abidin. 1994. Ontogenetic change in digestive enzymes activity during larval development of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 123:323-333.

- Kumlu, M. and D.A. Jones, 1995. Feeding and digestion in the caridean shrimp larva of *Palaemon elegans* Rathke and *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea:Palaemonidae) on live and artificial diets. *Aquaculture Nutrition* 1:3-12.
- Kurmaly, D. A. Jones, K., A. B. Yule and J. East. 1989. Comparative analysis on the growth and survival of *Penaeus monodon* (Fabricius) larvae, from protozoa 1 to postlarvae 1, on live feeds, artificial diets and on combinations of both. *Aquaculture* 81:27-45.
- Lavens, P., S. Thongrod and P. Sorgeloos. 2000. Larval prawn feeds and the dietary importance of *Artemia*. Pages 91-111 in M. B. New and W. C. Valenti, editors. *Freshwater prawn culture*, Blackwell Science, Oxford, England.
- Lovett, D. L. and D. L. Felder. 1988. Evaluation of the rotifer *Brachionus plicatilis* as an substitute for *Artemia* in feeding larvae of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 71:331-338.
- Meyers, S. P. and R. W. Hagood. 1984. Flake diets and larval crustacean culture. *The Progressive Fish-culturist* 46:225-229.
- Mooler, T. H. 1978. Feeding behaviour of larvae and postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea:Palaemonidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 35:251-258.
- Murai, T. and J. W. Andrews. 1978. Comparison of feeds for larval stages of the giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *World Mariculture* 9:189-193.
- New, M. B. 1995. Status of freshwater prawn farming: a review. *Aquaculture Research* 26:1-54.
- New, M. B. and S. Shingholka. 1985. *Freshwater prawn farming. A manual for the culture of Macrobrachium rosenbergii*. FAO Fisheries Technical Paper 225, FAO, Rome, Italy.
- Pillai, N. N. and K. H. Mohamed. 1973. Larval history of *Macrobrachium idella* (Hilgendorf) reared in the laboratory. *Journal of Marine Biology Association of India* 15:359-385.
- Samocho, T. M., N. Uziel and C. L. Browdy. 1989. The effect of feeding two prey organisms, nauplii of the *Artemia* and rotifers, *Brachionus plicatilis* (Muller), upon

- survival and growth of larval marine shrimp, *Penaeus semisulcatus* (de Haan). *Aquaculture* 77:11-19.
- Sick, L.V. and H. Beaty. 1974. Culture techniques and nutrition studies for larval stages of the giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. Technical Report Service 74-5, 32p.
- Sick, L. V. and M. R. Millikin. 1983. Dietary and nutrient requirements for culture of the Asian prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. Pages 381-389 in J. P. McVey and J. R. Moore, editors. CRC Handbook of Mariculture (Crustacean Aquaculture), CRC Press, Boca Raton.
- Silva, F. M. and J. B. R. Rodriguez. 1997. Efeito da substituição de *Artemia* sp pelo nematóide *Panagrellus redivivus* sobre o crescimento e sobrevivência larval do camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*). *Boletim do Instituto de Pesca* 24:35-48.
- Sorgeloos, P. and P. Léger. 1992. Improved larviculture outputs of marine fish, shrimp and prawn. *Journal of the World Aquaculture Society* 23:251-264.
- Uno, Y. and C. S. Kwon. 1969. Larval development of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. *Journal of the Tokyo University Fisheries* 55:179-190.
- Valenti, W. C., M. Mallasen and C. A. Silva. 1998. Larvicultura em sistema fechado dinâmico. Pages 112-139 in W. C. Valenti, editor. *Carcinicultura de água doce: tecnologia para produção de camarões*, FAPESP, São Paulo e IBAMA, Brasília, Brasil.
- Valenti, W. C. and W. H. Daniels. 2000. Recirculation hatchery systems and management. In M. B. New and W. C. Valenti, editors. *Freshwater prawn culture*, Blackwell Science, Oxford, England.
- Wilckenfeld, J.S., A.L. Lawrence, and F.D. Kuban. 1984. Survival, metamorphosis and growth of penaeid shrimp larvae reared on a variety of algal and animal foods. *Journal of World Mariculture Society* 12:250-259.

Yúfera, M., A. Rodríguez, and L.M. Lubian. 1984. Zooplankton ingestion and feeding behavior of *Penaeus kerathurus* larvae reared in the laboratory. *Aquaculture* 42:217-224.

4. Influência do fotoperíodo na taxa de ingestão de náuplios de *Artemia* por larvas de *Macrobrachium rosenbergii*

Resumo

As taxas de ingestão de náuplios de *Artemia* por larvas de *Macrobrachium rosenbergii* mantidas em quatro regimes de fotoperíodo (0, 8, 12 e 24 horas de luz diária) foram determinadas para cada estágio de desenvolvimento. O delineamento experimental foi totalmente casualizado com quatro tratamentos de regimes claro (L):escuro (D) (0L:24D, 8L:16D, 12L:12D e 24L:0D) e cinco repetições. Os testes foram realizados em placas de Petri contendo 40 mL de água salobra (12 ‰). Estas foram dispostas sobre balcões cobertos com filme de polietileno preto e colocadas em diferentes compartimentos providos de “timer”, ajustados aos diferentes regimes de claro:escuro (12L:12D, 16L:8D e 24L:0D), com exceção do fotoperíodo 0L:24D, cujas placas foram cobertas com filme de polietileno preto. A intensidade luminosa de 700 a 800 lux foi mantida por meio de lâmpadas fluorescentes. Não houve incidência de luz solar. Os náuplios foram contados manualmente com uma pipeta Pasteur e colocados nas placas. A densidade de fornecimento foi de 10 náuplios/mL. Foi colocada uma larva em cada placa e após 24 h os náuplios restantes foram contados. A taxa média diária de ingestão por larva em cada estágio foi calculada. O regime de luz não interferiu na taxa de ingestão no início do desenvolvimento larval (estágios II ao V). A partir do estágio VI, o consumo de náuplios de *Artemia* foi significativamente menor na ausência total de luz, sendo que maiores taxas de ingestão foram obtidas no regime 12L:12D ($P < 0,05$).

Palavras-chave: fotoperíodo; taxa de ingestão; larva; *Macrobrachium*.

4.1. Introdução

O sucesso da larvicultura de crustáceos depende, entre outros fatores, do controle de parâmetros abióticos, tais como temperatura e salinidade da água (Minagawa 1994). A luz tem sido considerada um fator de grande importância para o desenvolvimento larval de decápodes, embora ainda pouco estudada sob condições de laboratório (Gardner e Maguirre 1998).

Estudos realizados com várias espécies de crustáceos, tais como *Palaemonetes vulgaris* (Knowlton 1974), *Crangon crangon* (Dalley 1980), *Homarus americanus* (Aiken et al. 1981; Eagles et al. 1986), *Pagurus bernhardus* e *Carcinus maenas* (Dawirs 1982), *Ranina ranina* (Minagawa 1994), *Pseudocarcinus gigas* (Gardner e Maguirre 1998) e *Jasus edwardsii* (Moss et al. 1999), demonstraram a influência da luz no crescimento, sobrevivência, ecdise e metamorfose larval. Embora os dados apresentem ampla variedade de respostas, as diferenças obtidas geralmente são atribuídas aos efeitos da luz no comportamento alimentar (Minagawa e Murano 1993; Gardner e Maguirre 1998) e, conseqüentemente, na taxa de ingestão das larvas.

A importância da luz na larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii* foi reconhecida por alguns autores (Daniels et al. 1992; New 1995; Valenti e Daniels 2000). No entanto, existe muita controvérsia a respeito da qualidade e da intensidade luminosa e da duração do fotoperíodo mais adequados (Correia et al. 2000).

Larvas de *M. rosenbergii*, como a maioria das larvas de decápodes, apresentam fototaxia positiva e possuem acuidade visual suficiente para detectar partículas em suspensão (Mooler 1978). No entanto, este autor reportou que elas não têm habilidade para se direcionar ao alimento, dependendo principalmente da oportunidade de encontro para captura e ingestão. Inversamente, Daniels et al. (1992) acreditam que as larvas utilizem a percepção visual para se alimentar, pois verificaram redução no consumo de alimento em dias nublados, quando a intensidade luminosa diminui sensivelmente. Aquacop (1977) obteve melhores resultados na produção larval em tanques com

incidência indireta de luz solar. Além da intensidade luminosa, a cor da parede dos tanques também parece influenciar a visualização do alimento pelas larvas (Lin e Omori 1993; Rodrigues et al. 1998). Dessa forma, a presença de luz seria necessária para assegurar taxas máximas de ingestão. Entretanto, a maioria das informações existentes sobre a influência da luz na alimentação de larvas de *M. rosenbergii* está baseada em dados empíricos. Estudos são necessários para definir o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a qualidade (espectro de comprimento de ondas) da luz utilizada na larvicultura dessa espécie (Valenti e Daniels 2000).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência do fotoperíodo na taxa de ingestão de náuplios de *Artemia* por larvas de *M. rosenbergii* em cada estágio de desenvolvimento.

4.2. Material e métodos

Este trabalho foi desenvolvido no Centro de Aqüicultura da UNESP, Laboratório de Biologia de Crustáceos (UNESP, Jaboticabal), em sala com temperatura controlada. As larvas utilizadas foram provenientes de uma fêmea ovada de *M. rosenbergii* obtida no estoque de reprodutores do Setor de Carcinicultura do CAUNESP. Uma larvicultura foi conduzida para fornecer larvas nos diferentes estágios de desenvolvimento para a realização dos testes. Larvas recém-eclodidas foram estocadas em um tanque cilíndrico, de fundo cônico, com capacidade para 120 L, provido de sistema fechado de circulação de água e aquecimento. A densidade foi de aproximadamente 90 indivíduos/L e a salinidade da água foi mantida em 12 ‰. As principais variáveis da água (temperatura, pH, amônia, nitrito e oxigênio dissolvido) foram monitoradas e mantidas dentro da faixa recomendada por Valenti et al. (1998) e Correia et al. (2000). As larvas foram alimentadas exclusivamente com náuplios recém-eclodidos de *Artemia*, fornecidos ad libitum ao entardecer.

A taxa de ingestão foi determinada para cada estágio de desenvolvimento larval (II a XI) em quatro regimes de fotoperíodo, com 0, 8, 12 e 24 horas de luz diária (tratamentos 0L:24D, 8L:16D, 12L:12D e 24L:0D). O delineamento experimental foi totalmente casualizado, em esquema em fatorial 10 x 4 (estágio x fotoperíodo), com cinco repetições. Os testes não foram realizados com larvas no estágio I, uma vez que estas não se alimentam, mesmo quando há disponibilidade de alimento (Mooler 1978; Barros e Valenti 1997). A identificação dos diferentes estágios larvais foi feita de acordo com Uno & Kwon (1969).

Os testes foram realizados em placas de Petri contendo 40 mL de água salobra (12 ‰). A água utilizada nos testes foi coletada previamente no tanque de manutenção do estoque de larvas e filtrada em tela de nylon de malha 125 µm. Todas as placas foram dispostas em balcões cobertos com filme de polietileno preto. As unidades experimentais foram colocadas em diferentes compartimentos providos de “timer” ajustados aos

diferentes regimes de claro:escuro (12L:12D, 16L:8D e 24L:0D), com exceção do fotoperíodo 0L:24D, cujas placas foram cobertas com filme de polietileno preto. A intensidade luminosa de 700 a 800 lux foi mantida por meio de lâmpadas fluorescentes, marca Sylvania, luz do dia Plus, F 40W T 12. Segundo as especificações do fabricante, estas lâmpadas emitem luz de um espectro similar à luz do sol. Não houve incidência de luz solar. A temperatura da água foi monitorada no início e final de cada teste.

Náuplios recém eclodidos de *Artemia franciscana* (proveniente de Great Salt Lake, EUA) foram contados manualmente com uma pipeta Pasteur e transferidos para as placas de Petri. A densidade foi de 10 náuplios/mL. No decorrer do desenvolvimento, uma larva de cada estágio foi colocada separadamente nas placas. Após 24 horas, as larvas foram retiradas para a contagem dos náuplios restantes. A quantidade consumida foi determinada pela diferença entre o número final e o número inicial de náuplios, sendo considerados apenas os indivíduos intactos.

O número médio de náuplios consumidos diariamente por larva em cada estágio de desenvolvimento e em cada tratamento foi calculado. Para a determinação de variações de consumo entre os dez estágios de desenvolvimento (II e XI) e entre os quatro tratamentos, os valores médios diários de ingestão obtidos foram comparados por análise de variância, seguida pelo Teste de Tukey, quando foram verificadas diferenças significativas.

4.3. Resultados

O valor médio da temperatura da água do tanque de manutenção foi 30°C e das placas de Petri foi 29°C. Os demais parâmetros foram iguais no tanque de manutenção e nas placas. A salinidade média foi 12,9‰; o pH foi 7,9; a amônia e o nitrito variaram entre 0,0 – 0,1 mg/L. O teor de oxigênio dissolvido da água do tanque de manutenção se apresentou próximo do ponto de saturação.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos até o estágio V ($P < 0,05$). A partir desse estágio, o fotoperíodo exerceu influência na taxa de ingestão. A análise estatística revelou a existência de três grupos que diferem significativamente entre si ($P < 0,01$): o fotoperíodo 12L:12D, que condicionou a maior taxa de ingestão; os tratamentos 16L:8D e 24L:0D, com taxas intermediárias, e o escuro contínuo, que proporcionou o menor consumo de náuplios de *Artemia*.

As taxas médias de ingestão das larvas de *M. rosenbergii* em cada estágio e em diferentes fotoperíodos estão apresentadas na Figura 1.

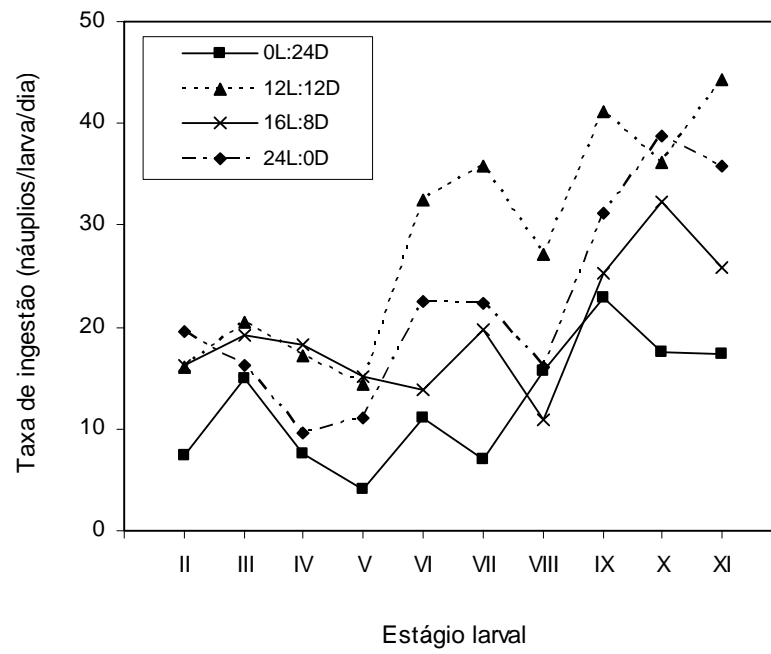


Figura 1. Taxa média de ingestão de náuplios de *Artemia* por larvas de *M. rosenbergii* nos diferentes fotoperíodos (L = claro; D = escuro).

4.4. Discussão

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que a luz é um fator abiótico que influencia o comportamento alimentar das larvas de *M. rosenbergii*, principalmente a partir do estágio VI (Tabela 1, Figura 1). Podemos inferir que, no início do desenvolvimento (estágios II ao V), a oportunidade de encontro é o principal mecanismo para a captura de alimento. Nos estágios seguintes (VI ao XI), ocorreria o desenvolvimento da percepção visual, ou da capacidade de captura dos náuplios baseada na visão. Alternativamente, a luz poderia aumentar a movimentação das larvas a partir do estágio VI, o que facilitaria o contato com o alimento. A quimiorrecepção parece não ser desenvolvida, pois além do consumo de náuplios ter apresentado pequena variação no decorrer do desenvolvimento larval, a taxa de ingestão por larvas mantidas em escuro constante foi significativamente menor nos últimos estágios (VI ao XI) (Tabela 1).

Barros e Valenti (1997) verificaram que, embora a maioria das larvas de *M. rosenbergii* capture o alimento por oportunidade de encontro, algumas larvas nadam em direção ao mesmo antes de capturá-lo. Essa habilidade aparece com maior frequência nos estágios finais (VIII ao XI), sugerindo o desenvolvimento de um mecanismo de percepção nesta fase, provavelmente visual. Meyers e Hagood (1984) observaram que larvas de *M. rosenbergii* preferem partículas de alimento de cores claras a partir do estágio IV, corroborando a hipótese da percepção visual.

O comprimento do fotoperíodo (horas de luz) parece não interferir na taxa de ingestão, uma vez que não se observou relação direta entre maior exposição à luz e aumento no consumo (Tabela 1). Resultados similares aos obtidos neste trabalho foram verificados por Minagawa (1994). O autor observou que a quantidade diária de alimento consumido por larvas de *Ranina ranina* aumentou ligeiramente sob luz contínua comparada aos regimes de 6, 12 e 18 horas de luz, porém foi significativamente menor no escuro. Minagawa e Murano (1993) verificaram efeitos negativos na sobrevivência,

desenvolvimento e crescimento de larvas da mesma espécie mantidas em 24 horas de luz, sugerindo maior consumo de energia nessas condições. Por esse motivo, Minagawa (1994) recomendou evitar a larvicultura de *R. ranina* em condições de luz contínua. Ao contrário, Lin (1997) e Lin et al. (1998) sugeriram a manutenção de larvas de *M. rosenbergii* sob condições de luz contínua. Esses autores obtiveram maiores taxas de ingestão e melhores resultados de sobrevivência, desenvolvimento e crescimento em larvas mantidas no fotoperíodo 24L:0D. Entretanto, no presente trabalho, ficou evidente a importância de um período de escuro no ciclo diário, pois larvas mantidas em 12L:12D consumiram maior quantidade de náuplios do que em 24L:0D. O escuro pode ter efeito sobre o metabolismo ou comportamento das larvas. A diferença dos resultados obtidos pode estar relacionada a diferentes intensidades ou espectros da luz empregada nos experimentos.

Altas intensidades de luz têm demonstrado reduzir o consumo de alimento, crescimento e sobrevivência de filossomas de *Thenus orientalis* devido à separação dos mesmos e das presas, uma vez estes possuem fototaxia negativa (Mikami e Greenwood, 1997). Paul et al. (1979) recomendaram a manutenção de filossomas de *Jasus edwardsii* em baixas intensidades luminosas ou no escuro para evitar aglomerações e manter igual distribuição do alimento. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas no consumo de náuplios de *Artemia* por filossomas desta espécie mantidos em diferentes intensidades de luz e no escuro (Moss et al. 1999).

Embora a importância da intensidade luminosa e duração do fotoperíodo para o desenvolvimento larval de decápodes seja reconhecida por vários autores, nenhum padrão foi evidenciado (Minagawa 1994). O comprimento do fotoperíodo afetou a sobrevivência, duração e/ou crescimento larval em *Palaemon serratus* (Reeve, 1969), *Carcinus maenas* e *Pagurus bernhardus* (Dawirs 1982), *Ranina ranina* (Minagawa 1994), *Macrobrachium rosenbergii* (Lin 1997; Lin et al. 1998) e *Pseudocarcinus gigas* (Gardner e Maguirre 1998). Entretanto, o fotoperíodo parece não interferir no metabolismo de *Pandalus borealis* (Wienberg 1982). Sob condições de escuro contínuo, efeitos positivos

na sobrevivência, duração e crescimento larval foram descritos em *Pagurus bernhardus* (Dawirs 1982), *Homarus americanus* (Eagles et al. 1986) e *Jasus edwardsii* (Moss et al. 1999). Por outro lado, efeitos negativos foram observados no cultivo de *Carcinus maenas* (Dawirs 1982). O fotoperíodo parece ser fator controlador da metamorfose em larvas de *Palaemonetes vulgaris*, uma vez que dias curtos (9L:15D x 18L:6D) aumentaram o período larval (Knowlton 1974). Entretanto, a frequência de muda, sobrevivência, crescimento diário e crescimento por estágio não foram afetados. A variação dos resultados pode ser decorrente de diferenças interespecíficas quanto às funções metabólicas, comportamento ou habitat.

Larvas de *Ranina ranina* apresentaram maiores taxas de sobrevivência e de crescimento larval quando mantidas no escuro contínuo do que sob regimes de 8L:16D e 24L:0D. Além disso, o canibalismo foi reduzido (Minagawa 1994). Este mesmo efeito também foi observado em larvas de *Pseudocarcinus gigas* mantidas no escuro (Gardner e Maguirre 1998). O metabolismo pode ser mais baixo no escuro, resultando na maior utilização da energia para o crescimento (Minagawa 1994). Larvas com hábitos diurno ou noturno possivelmente apresentarão respostas diferentes.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho e na literatura, recomenda-se a realização da larvicultura de *M. rosenbergii* em regime de 12L:12D, uma vez que este fotoperíodo proporcionou maiores taxas de ingestão de náuplios. Entretanto, não há consenso sobre os efeitos da luz no desenvolvimento larval de decápodes. Estudos enfocando a intensidade luminosa e aspectos qualitativos da luz, ou seja, o efeito dos vários comprimentos de onda do espectro luminoso, são essenciais para a compreensão dos fenômenos envolvendo a luz e a ingestão de alimentos.

4.5. Referências

- Aiken, D.E., D.J. Martin, J.D. Meisner, and J.B. Sochasky. 1981. Influence of photoperiod on survival and growth of larval American lobster (*Homarus americanus*). Journal of the World Mariculture Society 12:225-230.
- Aquacop. 1977. *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) culture in Polynesia: progress and development a mass intensive larval rearing in clear water. Proceedings of the World Mariculture Society 8:311-319.
- Barros, H. P. and W. C. Valenti. 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)(Crustacea, Palaemonidae) durante a fase larval: análise qualitativa. Revista Brasileira de Zoologia 14:785-793.
- Correia, E. S., S. Suwannatous and M. B. New. 2000. Flow-through hatchery systems and management. Pages 52-68 in M. B. New and W. C. Valenti, editors. Freshwater prawn culture, Blackwell Science, Oxford, England.
- Dalley, R. 1980. The survival and development of the shrimp *Crangon crangon* (L.), reared in the laboratory under non-circadian light-dark cycles. Journal of the Experimental Marine Biology and Ecology 47:101-112.
- Daniels, W. H., L. R. D'Abramo and L. D. Parseval. 1992. Design and management of a closed, recirculating 'clearwater' hatchery system for freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* De Man, 1879. Journal of Shellfish Research 11:65-73.
- Dawirs, R.R. 1982. Methodical aspects of rearing decapod larvae, *Pagurus bernhardus* (Paguridae) and *Carcinus maenas* (Portunidae). Helgoländer Meeresuntersuchungen 35:439-464.
- Eagles, M.D., D.E. Aiken, and S.L. Waddy. 1986. Influence of light and food on larval American lobsters *Homarus americanus*. Canadian Journal Fish Aquatic Science 43:2303-2310.

- Gardner, C. and G.B. Maguirre. 1998. Effect of photoperiod and light intensity on survival, development and cannibalism of larvae of the Australian giant crab *Pseudocarcinus gigas* (Lamarck). *Aquaculture* 165:51-63.
- Knowlton, R.E. 1974. Larval developmental processes and controlling factors in decapod Crustacea, with emphasis on Caridea. *Thalassia Jugoslavica* 10:139-158.
- Lin, X.T. 1997. Influence of photoperiod on food consumption and development of *Macrobrachium rosenbergii* larvae. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 28:13-20.
- Lin, X.T. and M. Omori. 1993. Effect of container coloration on the feeding rates of the zoeal larvae of the giant freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. *Bulletin of Plankton Society of Japan* 40:19-25.
- Lin, X.T., S. Qi, S.J. Cao and C.J. Huang. 1998. Influence of photoperiods on growth and energy budget of *Macrobrachium rosenbergii* larvae. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 29:119-126.
- Meyers, S. P. and R. W. Hagood. 1984. Flake diets and larval crustacean culture. *The Progressive Fish-culturist* 46:225-229.
- Mikami, S. and J.G. Greenwood. 1997. Influence of light regimes on phyllosomal growth and timing of moulting in *Thenus orientalis* (Lund) (Decapoda: Scyllaridae). *Marine and Freshwater Research* 48:777-782.
- Minagawa, M. 1994. Effects of photoperiod on survival, feeding and development of larvae of the red frog crab, *Ranina ranina*. *Aquaculture* 120:105-114.
- Minagawa, M. and M. Murano. 1993. Larval feeding rhythms and food consumption by the red frog crab *Ranina ranina* (Decapoda, Raninidae) under laboratory conditions. *Aquaculture* 113: 251-260.
- Mooler, T. H. 1978. Feeding behaviour of larvae and postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea: Palaemonidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 35:251-258.

- Moss, G.A., L.J. Tong, and J. Illingworth. 1999. Effects of light intensity and food density on the growth and survival of early-stage phyllosoma larvae of the rock lobster *Jasus edwardsii*. *Marine Freshwater Research* 50:129-134.
- New, M. B. 1995. Status of freshwater prawn farming: a review. *Aquaculture Research* 26:1-54.
- Paul, A.J., J.M. Paul, P.A. Shoemaker, and H.M. Feder. 1979. Prey concentrations and feeding response in laboratory-reared stage-one zoeae of king crab, snow crab, and pink shrimp. *Transactions of the American Fisheries Society* 108:440-443.
- Reeve, M.R. 1969. Growth, metamorphosis and energy conversion in the larvae of the prawn, *Palaemonetes serratus*. *Journal Marine Biology Association UK*. 49:77-96.
- Rodrigues, C.C.B., J.B.R. Rodrigues, and S. Moschen. 1998. Efeitos da luz solar e cor dos tanques no desenvolvimento larval e produção de pós-larvas do camarão *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879). Pages 423-435 in *Anais do Aqüicultura Brasil 98*. World Aquaculture Society (Latin American Chapter). Brasil.
- Uno, Y. and C. S. Kwon. 1969. Larval development of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. *Journal of the Tokyo University Fisheries* 55:179-190.
- Valenti, W. C., M. Mallasen and C. A. Silva. 1998. Larvicultura em sistema fechado dinâmico. Pages 112-139 in W. C. Valenti, editor. *Carcinicultura de água doce: tecnologia para produção de camarões*, FAPESP, São Paulo e IBAMA, Brasília, Brasil.
- Valenti, W. C. and W. H. Daniels. 2000. Recirculation hatchery systems and management. Pages 69-90 in M. B. New and W. C. Valenti, editors. *Freshwater prawn culture*, Blackwell Science, Oxford, England.
- Wienberg, R. 1982. Studies on influence of temperature, salinity, light, and feeding rate on laboratory reared larvae of deep sea shrimp, *Pandalus borealis* Kroyer 1838. *Meeresforschung* 29:136-153.

5. DISCUSSÃO GERAL

Os aspectos que governam a eficiência da nutrição larval, além da qualidade nutricional do alimento, podem ser resumidos em comportamento alimentar (percepção, captura e seleção do alimento antes da ingestão), morfo-fisiologia do aparelho digestório e condições metabólicas das larvas. Taxas de sobrevivência e crescimento adequadas serão obtidas se tais aspectos forem bem conhecidos (Jones et al., 1997).

Os dados obtidos no presente trabalho permitem inferir que, no início do desenvolvimento larval de *M. rosenbergii* (estágios II ao V), o comportamento alimentar é independente de fatores como a densidade de náuplios e o fotoperíodo. Larvas nestes estágios ingerem apenas o abdômen dos náuplios de *Artemia* (Barros e Valenti, 1997), isso porque as peças bucais e os apêndices que auxiliam na captura da presa encontram-se ainda em processo de desenvolvimento (Uno e Kwon, 1969; Gomez Diaz e Kasahara, 1987). Anger (1991) classificou esse comportamento como ineficiente do ponto de vista energético e o denomina de "sloppy feeding" (alimentação descuidada). O fato da captura e ingestão ser ineficiente nesses estágios deve estar relacionada a menor correlação entre a concentração de náuplios e o consumo larval verificada neste trabalho. O tempo gasto no manuseio e na ingestão de cada náuplio (aproximadamente 10 minutos, de acordo com Barros e Valenti, 1997) deve ser o fator mais limitante na taxa de ingestão do que a concentração do alimento. A partir do estágio V, observou-se maior correlação da concentração do alimento no consumo larval. Em geral, a taxa de ingestão aumentou com a densidade de náuplios de *Artemia*.

De modo geral, larvas de *M. rosenbergii* não possuem mecanismos de percepção do alimento, dependendo da oportunidade de encontro para alimentar-se (Mooler, 1978; Barros e Valenti, 1997). Nos estágios iniciais (II ao V), as larvas apresentam órgãos sensoriais pouco desenvolvidos, sendo a mecanorrecepção o principal mecanismo utilizado na captura do alimento. A percepção visual e a quimiorrecepção parecem ter pouca ou nenhuma importância na tomada de alimento, uma vez que o consumo de

náuplios pelas larvas nessa fase foi similar mesmo em diferentes fotoperíodos. A partir do estágio VI, o desenvolvimento da percepção visual ou da capacidade de utilização desse mecanismo podem estar envolvidos na captura do alimento, pois a taxa de ingestão de náuplios foi significativamente menor quando as larvas foram mantidas no escuro. Por esse motivo, pode-se inferir também que a quimiorrecepção não deve ser utilizada na captura dos náuplios, já que o consumo foi baixo no decorrer de todo o desenvolvimento larval em regime de escuro constante.

A existência de um tubo digestório pouco desenvolvido e a baixa atividade enzimática verificados nos estágios II ao V (Kamarudin et al., 1994; Kumlu e Jones, 1995; Jones et al., 1997) também podem justificar a menor correlação entre a densidade de náuplios no consumo larval. Nos estágios I e II² (estágios I e II de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987), o hepatopâncreas, responsável pela secreção de enzimas e absorção de nutrientes, apresenta células epiteliais embrionárias pequenas (Agard, 1999). Nos estágios III e IV (estágios III e IV, de acordo com Gomez Diaz, 1987), as larvas apresentam sinais de diferenciação e reconstrução celular do hepatopâncreas. Esse processo se completa entre os estágios V e VI (estágios V a VII, de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987). Além disso, a glândula filtrante, inexistente nos estágios iniciais, torna-se funcional a partir do estágio IV (Jones et al., 1997). De acordo com Agard (1999), a partir desse estágio (IV, de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987) ocorre o início da dependência de material exógeno, sendo observado um aumento da contribuição exógena da tripsina e amilase proveniente dos náuplios de *Artemia* (Kamarudin et al., 1994). O processo de digestão estará completamente funcional a partir do estágio VI (estágio VII, de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987), quando se observa aumento de aproximadamente 300% no volume celular do hepatopâncreas (Agard, 1999), aumento no conteúdo específico da tripsina (Kamarudin et al., 1994;

² Agard (1999) utilizou a descrição dos estágios larvais de *M. rosenbergii* realizada por Gomez Diaz e Kasahara (1987), que identificaram 17 estágios larvais no decorrer do desenvolvimento.

Kumlu e Jones, 1995) e depleção das reservas vitelínicas (Kamarudin et al., 1994). O início da alimentação ativa ocorre a partir desse estágio (Agard, 1999).

O consumo ineficiente (considerando que os náuplios não são consumidos por inteiro) e a relativa independência da concentração de náuplios na taxa de ingestão verificados nos estágios II e III de larvas de *M. rosenbergii* caracterizam uma fase metabólica na qual a alimentação é facultativa. Embora as larvas comecem a se alimentar a partir do estágio II, a principal fonte energética é endógena, proveniente da reserva vitelínica existente até o estágio VI de desenvolvimento. De acordo com Agard (1999), a energia assimilada por meio da alimentação seria direcionada principalmente para a morfogênese e a reorganização celular, pois até esse estágio (VII, de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987), o aumento de peso é pequeno.

De acordo com Anger (1991), embora as larvas se alimentem quando há disponibilidade de alimento, o período de alimentação facultativa é caracterizado por baixas taxas de ingestão e de crescimento, altas perdas metabólicas e, conseqüentemente, baixa eficiência de crescimento líquido. Baixa taxa de crescimento foi verificada por Uno e Kwon (1969) e Gomez Diaz e Kasahara (1987) no início do desenvolvimento larval (estágios I - V) de *M. rosenbergii*. Agard (1999) verificou valores negativos de eficiência de crescimento líquido e consumo elevado de O₂ nos estágios I - III da mesma espécie (correspondente aos estágios I – III de Gomez Dias e Kasahara, 1987), denominando essa fase de fase pós-embrionária ou de baixo crescimento. Segundo esse autor, essa fase seria a preparação do animal para o início da alimentação; a energia disponível proveniente do estoque vitelínico seria canalizada para a reorganização tecidual (diferenciação e reconstrução celular do hepatopâncreas). Valores baixos de eficiência de crescimento líquido e taxa O:N (oxigênio:nitrogênio) verificados nessa fase (Agard, 1999) indicam algum grau de lecitotrofia, o que seria um fator adaptativo à escassez de alimento e ao comportamento alimentar ineficiente.

Após o contato com o alimento, mecano e/ou quimiorrecepção parecem estar envolvidos no processo de ingestão/rejeição do alimento (Mooler, 1978; Barros e Valenti,

1997). Nos estágios iniciais (II - III), a seleção do alimento após a captura é mais rigorosa, sendo que a mecanorrecepção parece ser o principal mecanismo utilizado (Barros e Valenti, 1997). Tamanho da presa e textura ou palatabilidade do alimento inerte parecem ser características limitantes para que a ingestão ocorra.

Os baixos valores da constante k (medida da curvatura da linha de regressão, que deve estar associada à adequação da presa ao predador) obtidos através da equação de regressão indicam que náuplios de *Artemia* são pouco adequados como alimento nos estágios II e III devido ao seu tamanho (cerca de 0,5 mm), que corresponde a aproximadamente 25% do tamanho das larvas. A partir do estágio IV, os apêndices e peças bucais já estão desenvolvidos e os náuplios são consumidos por inteiro. O tempo de manuseio e ingestão diminui para cerca de 3 minutos (Barros e Valenti, 1997). A pequena variabilidade obtida nas taxas de ingestão entre as diferentes densidades de fornecimento testadas e o alto valor da constante k sugerem que o tamanho do náuplio de *Artemia* é mais adequado nesta fase de desenvolvimento. No estágio IV, o tamanho do náuplio corresponde à aproximadamente 20% do comprimento total médio das larvas. A partir do estágio V, observou-se maior dependência da concentração de alimento e o consumo larval. De modo geral, a taxa de ingestão aumentou com o número de náuplios fornecidos. Embora o tempo de captura e ingestão tenha decrescido com o desenvolvimento larval, a constante k diminuiu progressivamente, tornando-se praticamente nula nos últimos estágios (IX – XI). Esses dados reforçam a hipótese de inadequação dos náuplios como presa devido ao seu tamanho, sendo necessária uma concentração muito elevada de náuplios em um sistema de cultivo para que as larvas consigam atingir a taxa de consumo máxima. Esta é superior à capacidade de carga do meio. Assim, recomenda-se a complementação da dieta com outro tipo de alimento. Nesses estágios, as larvas assumem comportamento mais bentônico e o mecanismo de seleção do alimento torna-se menos rigoroso, aceitando e ingerindo dietas artificiais. De fato, observou-se que apenas a partir dos estágios VII e VIII, mais que 50% das larvas consumiram as rações úmida e seca, respectivamente.

Ao contrário do alimento vivo, o tamanho da partícula de ração, seca ou úmida, não interferiu na aceitação das mesmas pelas larvas no decorrer do desenvolvimento. Dessa forma, partículas entre 250 e 1190 μm foram aceitas e ingeridas pelas larvas de *M. rosenbergii* com igual intensidade. A ingestão de alimento inerte deve ser limitada pelas características físicas, tais como textura, cor e densidade, ou químicas (palatabilidade) das partículas, ou ainda, pelas características morfo-fisiológicas das larvas.

Larvas nos estágios iniciais de desenvolvimento (I – III) apresentam mandíbulas características de larvas carnívoras (Jones et al., 1997), o que pode explicar a pequena aceitação de outro tipo de alimento nessa fase. Com o desenvolvimento, a dentição mandibular aumenta, porém os dentes tornam-se progressivamente mais arredondados, característicos de larvas omnívoras (estágios IV – XI) (Jones et al., 1997).

A diferenciação do hepatopâncreas e o início da síntese de enzimas digestórias não são controlados pela taxa de ingestão (Biesot e Capuzzo, 1990; Agard, 1999). O controle é genético (Jones et al., 1997), determinado pelos hábitos alimentares e necessidades nutricionais das larvas (Hirche e Anger, 1987). A tripsina é a protease predominante em larvas de *M. rosenbergii*. O conteúdo específico da tripsina é alto no estágio I, decrescendo nos estágios II e III, quando as larvas começam a se alimentar (Kamarudin et al., 1994). Nessa fase, as larvas podem sobreviver e mudar de estágio sem alimentação exógena (Uno e Kwon, 1969), sendo que a energia disponível é obtida do estoque endógeno de lipoproteína (Kamarudin et al., 1994; Jones et al., 1997; Agard, 1999).

Essa relativa independência de alimento exógeno deve refletir uma adaptação das larvas à suscetibilidade de permanecer em jejum ou encontrar baixa concentração de zooplâncton no ambiente natural logo após a eclosão, bem como à inabilidade de captura da presa pelas mesmas. O aumento da tripsina a partir do estágio IV - V (Kamarudin et al., 1994) reflete a maior contribuição exógena das enzimas digestórias verificadas nessa

fase (Kamarudin et al., 1994). O aumento na atividade da tripsina em larvas de carídeos coincide com a capacidade de sobrevivência à dietas artificiais (Kamarudin et al., 1994).

A alta atividade da tripsina e atividade quase nula da amilase entre os estágios II - V (Kamarudin et al., 1994) indicam que as larvas nessa fase de desenvolvimento são carnívoras, não apresentando capacidade de digerir alimentos artificiais. O aumento do conteúdo específico da amilase ocorre a partir dos estágios VII - VIII, quando o trato digestório está completo. Esse aumento indica a mudança do hábito alimentar das larvas de carnívoro para omnívoro e a necessidade de alimentação exógena. O aumento na frequência de aceitação do alimento inerte verificado a partir dos estágio VII e VIII e a maior dependência da concentração de náuplios na taxa de ingestão das larvas, verificadas neste trabalho, reforça essa observação.

A elevação nas taxas de ingestão máxima obtidas e a maior frequência de aceitação de alimento inerte a partir do estágio VII indicaram maior dependência do alimento exógeno. Valores altos da taxa O:N, verificados por Agard (1999) nessa fase de desenvolvimento (estágios VI ao XIII, de acordo com Gomez Diaz e Kasahara, 1987), indicam mudança do processo catabólico para anabólico, com a utilização de lipídios/carboidratos como recurso energético para manutenção larval. Esse autor também obteve elevada eficiência de crescimento líquido, o que caracteriza um baixo grau de lecitotrofia larval. A alimentação é de grande importância, pois as larvas devem acumular proteína como reserva energética para os últimos estágios de desenvolvimento (X - XI), nos quais o crescimento é lento e há declínio na taxa O:N. As baixas taxas de ingestão verificadas nos últimos estágios nas menores concentrações de náuplios podem indicar o aumento no grau de lecitotrofia. Quando a concentração de alimento não é adequada, a alimentação pode tornar-se facultativa. Nesse caso, a energia disponível seria canalizada para o desenvolvimento de mecanismos osmorreguladores e para a procura de um habitat favorável, e não para a procura de alimento (Anger, 1991; Agard, 1999).

A partir dessas observações, concluímos que o fornecimento de ração em estágios anteriores ao VII resultam em desperdício de alimento e conseqüente aumento no custo de produção de pós-larvas. Embora algumas larvas aceitem o alimento inerte a partir do estágio II, provavelmente este não será assimilado de forma adequada.

5.1. REFERÊNCIAS

- Agard, J.B.R. 1999. A four-dimensional response surface analysis of the ontogeny of physiological adaptation to salinity and temperature in larvae of the palaemonid shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 236:209-233.
- Anger, K. 1991. Developmental changes in the bioenergetics of decapod larvae. *Memoirs of the Queensland Museum* 31:289-308.
- Barros, H. P. and Valenti, W. C.. 1997. Comportamento alimentar do camarão de água doce, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)(Crustacea, Palaemonidae) durante a fase larval: análise qualitativa. *Revta Bras. Zool.* 14:785-793.
- Biesot, P.M. and Capuzzo, J.M. 1990. Changes in digestive enzyme activities during early development of the American lobster *Homarus americanus* Milne Edwards. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 136:107-122.
- Gomez Diaz, G. and Kasahara, S. 1987. The morphological development of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) larvae. *J. Fac. Apl. Biol. Sci.* 26:43-56.
- Hirche, H.J. and Anger, K. 1987. Digestive enzyme activities during larval development of *Hyas araneus* (Decapoda, Majidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 87B:297-302.
- Jones, D. A.; Yule, A. B.; Holland, D. L. 1997. Larval nutrition. Pages 356-389 *in* L. R. D'Abramo, D. E. Coklin and D. M. Akiyama, editors. *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture*, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Kamarudin, M.S.; Jones, P.A.; Vay, L.; Abidin, A.Z. 1994. Ontogenetic change in digestive enzyme activity during larval development of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 123:323-333.
- Kumlu, M. and Jones, D.A. 1995. Feeding and digestion in the caridean shrimp larva of *Palaemon elegans* Rathke and *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) (Crustacea:Palaemonidae) on live and artificial diets. *Aquaculture Nutrition* 1:3-12.
- Mooler, T. H. 1978. Feeding behaviour of larvae and postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)(Crustacea:Palaemonidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 35:251-258.

Uno, Y. and Kwon, C. S. 1969. Larval development of *Macrobrachium rosenbergii* reared in the laboratory. J. Tokyo Univer. Fish. 55:179-190.