



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

JOÃO VICENTE MENDES SANTANA

DINÂMICA DO CICLO DE VIDA DA LAGOSTA *Panulirus argus*
(Latreille, 1804) NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA MARGEM
EQUATORIAL BRASILEIRA

FORTALEZA

2016

JOÃO VICENTE MENDES SANTANA

**DINÂMICA DO CICLO DE VIDA DA LAGOSTA *Panulirus argus*
(Latreille, 1804) NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA MARGEM
EQUATORIAL BRASILEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Área de concentração: Utilização e manejo de ecossistemas marinhos e estuarinos.

Orientador: Prof. Dr. Raúl Cruz Izquierdo

FORTALEZA

2016

JOÃO VICENTE MENDES SANTANA

**DINÂMICA DO CICLO DE VIDA DA LAGOSTA *Panulirus argus*
(Latreille, 1804) NA PLATAFORMA CONTINENTAL DA MARGEM
EQUATORIAL BRASILEIRA**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e manejo de ecossistemas marinhos e estuarinos.

Aprovada em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raúl Cruz Izquierdo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rodrigo Maggioni
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Kamila Vieira de Mendonça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Augusto Bezerra
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Profa. Dra Maria Ozilea Bezerra Menezes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

O ano era 2001 e a sede da Colônia de Pescadores Z-32, de Tucuruí - PA estava repleta de pescadores, autoridades locais e técnicos especialmente contratados para discutir problemas e soluções relacionados à atividade da pesca na região. Foi quando, em meio à plateia, um velho pescador levantou a mão e pediu a palavra, que lhe foi facultada. Ele então se levantou e após um longo minuto de silêncio, quando os organizadores já se entreolhavam, na expectativa de dar continuidade ao evento, Sr. Mozart finalmente falou, se immortalizando na frase que sintetizava a pesca artesanal em Tucuruí e pelo Brasil afora.

_ São tantas coisas....

São mesmo, "Seu Mozart".

Dedico este trabalho a Soniamar Zschornack, minha Companheira de Passadiço.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por tudo.

A todos que de maneira direta ou indireta colaboraram para que eu chegasse até este momento.

Ao meu Orientador e Amigo, Professor Dr Raúl Cruz, pela paciência e dedicação, por me ensinar, principalmente, as coisas que não estão nos livros.

Ao Professor Dr. Edmar Almeida de Moraes, então coordenador da Política Nacional de Formação Humana para as Áreas de Pesca Marinha, Continental e Aquicultura Familiar/ Portos e Navegação, da SETEC/MEC, que acreditou na nossa proposta de Programa para formação de mestres e doutores, viabilizando esse importante Convênio, e assim, tornando possível este trabalho.

Ao Professor Dr Luis Parente Maia, então Diretor do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, que acreditou na proposta da SETEC/MEC e tornou essa parceria um sucesso.

Ao Professor M.Sc. Toivi Masih Neto, meu colega de Instituição, pelo incentivo a participar do edital de seleção deste Programa, e por me apresentar aos pescadores da praia da Flexeiras, Trairi - CE.

Ao Professor Dr. Rodrigo de Salles, meu colega de Instituição, que me apresentou ao Professor Dr. Raul Cruz, que viria a ser meu Orientador.

À Maria Anátalia da Silva e Isaac Kennedy Brasil de Menezes, da Empresa Cajucoco Agroindústria e Aquicultura Ltda, Luciana Campos e Inácio Henrique da Empresa Brasileira de Pescados Ltda por gentilmente, permitirem o acesso às lagostas no salão de beneficiamento, e assim, poder fazer a biometria das mesmas.

Ao Armador Jose Simão da Costa por permitir os embarques na sua embarcação durante os períodos de pesca da lagosta.

Ao Professor Dr. Gilberto Schwertner Filho, Juliana Santana e Méssio Douglas, pela ajuda no tratamento das imagens.

À Professora Dra. Marina Teresa pela ajuda nas sugestões e formas de apresentação deste trabalho.

À minha colega de curso Juliana Gaeta, pela colaboração na confecção do material de atração dos puerulus.

Aos Professores Jesper Sampaio, Socorro Abreu e Soniamar Zschornack pela valiosa ajuda nas correções dos textos em inglês e português.

À Professora Eveline Alexandre Paulo, minha colega de Instituição, pela ajuda nos contatos com as empresas de pesca.

À Bárbara Pereira Paiva e Camena Fernandes Costa, pela compilação dos dados da descarga média mensal dos rios citados.

Ao Professor Dr. Israel Hidenburgo Cintra pelas citações das espécies apresentadas nesse trabalho.

Especialmente a Tulio Ésio, Antônio Wefleton, José Batalha do Nascimento Neto, José Deucimar da Silva, Roberto Leopoldo de Medeiros, João Elias Vasconcelos Medeiros, Pedro Edvan dos Santos Viana, Raimundo Nonato Nunes e Francisco Eridan dos Santos Viana pela contribuição valiosíssima na captura e recolhimento das informações biométricas das lagostas. Sem vocês, esse trabalho não teria sido possível. Muito Obrigado.

Ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, pelo conteúdo aprendido e ao seu Corpo de Servidores Administrativos, sempre gentis e atenciosos.

A todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

As lagostas espinhosas, predadores chave no ecossistema bentônico, são um recurso pesqueiro de elevado valor comercial, no Atlântico Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, embora suas populações estejam sendo exploradas pelo homem há mais de um século. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo determinar a variação espacial e temporal da população da lagosta vermelha *Panulirus argus* (Latreille, 1804) por faixa de profundidade, baseado em índices de abundância dos juvenis, pré-recrutas e adultos, verificando a possível associação entre esses parâmetros e sua relação com o efeito da descarga do rio Amazonas. Foram realizadas coletas entre os anos 2014 e 2015 em profundidade entre 3 e 40 m na região nordeste do Brasil, bem como se incorporou os dados coletados do setor profundo (50-100m) da região norte do Brasil (2001-2003), com o fim de estudar integralmente os processos de recrutamento e comportamento do potencial reprodutivo por profundidade. Na região nordeste do Brasil, os resultados mostram que o assentamento de puerulus e de fase algal ocorre entre 1 e 3 metros de profundidade. Os juvenis (média 48,2 mm) e pré-recrutas (média 63,85 mm) habitam entre 3 e 5 metros. Em profundidades entre 10 e 20m, distribuem-se lagostas pré-recrutadas e adultos jovens (média 72,74 mm). Entre os 30 e 40 m, habitam pré-adultos e adultos (média 85,61mm) e, no habitat profundo (> 50 m), um estoque adulto de maior tamanho (média 100,55 mm). As lagostas fêmeas do setor mais profundo apresentam uma maior contribuição ao total de ovos da população por serem mais abundantes e de maior tamanho (94,86 mm CC) que as fêmeas da área entre 30-40 m (85,61 mm CC). O assentamento do puerulus ocorre durante todo o ano, mas dois picos anuais foram identificados: um em março-abril e outro em julho-setembro. Concomitantemente, a entrada do recrutamento juvenil, nas áreas de águas rasas entre 3 e 5 m, a partir de janeiro, com pico em fevereiro e março, tende a diminuir a partir de abril, enquanto os níveis dos pré-recrutas tenderam a aumentar entre junho e agosto, mostrando uma defasagem de quatro meses. Os períodos de máxima das duas primeiras fases coincidem com os menores fluxos da descarga do rio Amazonas, com uma defasagem entre 7 e 9 meses e entre 0 e 1 mês para as fases puerulus e juvenil, respectivamente.

Palavras-chave: *Panulirus argus*; Reprodução; Recrutamento; Descarga do rio Amazonas.

ABSTRACT

Spiny lobsters (*Panulirus argus* Latreille, 1804) are key predators in the benthic ecosystem and a highly valued fishing resource in the Central Western Atlantic and Northeastern Brazil, although stocks have been heavily exploited for over a century. The purpose of this study was to determine spatial and temporal variations in spiny lobster stocks at different depths based on indices of juvenile, pre-recruit and adult abundance in order to verify possible correlations between these variables and their association with Amazon river discharge patterns. Lobsters were collected off Northeastern Brazil in the period 2014-2015 at a depth of 3-40 m. In addition, 2001-2003 data from deeper waters (50-100m) off Northern Brazil were included in the analysis to study recruitment patterns and depth-related trends of reproductive potential. The results for Northeastern Brazil shows that pueruli and algal-phase lobsters settle at a depth of 1-3 m, while juveniles (mean carapace length 48.2 mm) and pre-recruits (63.85 mm) prefer slightly deeper waters (3-5 m). Pre-recruits and young adults (72.74 mm) are found at 10-20 m, pre-adults and adults (85.61 mm) at 30-40 m, and older adults (100.55 mm) at >50 m. Females in deeper waters contribute the most to the total egg production because they are more abundant and larger (94.86 mm) than females at 30-40 m (85.61 mm). Recruitment of pueruli occurred throughout the year, but two annual peaks were identified: March-April and July-September. Juvenile migration to shallow waters (3-5 m) started in January, peaked in February and March, and declined in April. On the other hand, pre-recruit abundance increased between June and August, producing a 4-month interval of low juvenile abundance. The periods of greatest abundance of the first two stages coincide with the lowest output of the Amazon river, creating intervals with low abundance of puerili (7-9 months) and juveniles (0-1 month).

Key words: *Panulirus argus*. Reproduction. Recruitment. Amazon river discharge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Mapa mostrando a distribuição das lagostas espinhosas correspondente a cada Estado ao longo da plataforma continental brasileira.....33
- Figura 2** - Região costeira do litoral Norte e Nordeste do Brasil habitada pelas lagostas.34
- Figura 3** - Refúgios artificiais.....35
- Figura 4** - Esboço proposto do aparato de captura de puerulus.....38
- Figura 5** - Sistema utilizado para a ancoragem do coletor de puerulus.....39
- Figura 6** - Esboço proposto do coletor de puerulus (Tipo II) de algas.....40
- Figura 7** - Imagem de satélite da NASA (2011) mostrando a descarga do Rio Amazonas e Orinoco.....45
- Figura 8** – Distribuição dos rios da Bacia Amazônica na área do território brasileiro: Estação de Óbidos, Tapajós, Tocantins, Gurupi e de outras bacias os rios Parnaíba (PI) e Acaraú (CE).....46
- Figura 9** - Relação entre a distribuição do comprimento da carapaça e a profundidade média de coleta da lagosta vermelha (*Panulirus argus*) na plataforma continental da região de Acaraú em profundidades entre 3 e 40 m. Período: 2013-2015.....48
- Figura 10** - Relação entre a distribuição do comprimento da carapaça e a profundidade, de lagostas vermelha (*Panulirus argus*) e verde (*Panulirus laevicauda*), na plataforma continental da região de Acaraú (2°46'S e 40°05'W), a uma profundidade entre 30 e 40 m. Período: junho-outubro 2014.....49
- Figura 11** – Lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) capturadas em coletor artificial tipo II (construído com algas vermelhas *Gracilaria sp.*). (A) Puerulus, transparente com olhos pigmentados. (B) Fase algal, apresenta duas bandas escuras que percorrem ambos os lados do corpo, nas patas as bandas são

fragmentadas. (C) Fase juvenil, apresenta as cores típicas da espécie. (D) Macroalgas (*Gracilaria* sp.).....50

Figura 12 – Assentamento médio mensal do puerulus (*Panulirus argus*), com intervalo de confiança para 95% (línea vertical) por tipo de coletor (Tipo I de fibras artificiais e Tipo II de algas) e período do ano. Período Julho- Dezembro 2015 e 2005-2006.....51

Figura 13. Tendência mensal do índice de assentamento dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (**Latreille, 1804**) nos coletores tipos I e II. Período segundo semestre de 2015.....52

Figura 14 - Padrão do assentamento médio dos puerulus da espécie *Panulirus argus* (**Latreille, 1804**) na região costeira do Brasil (2003-2006)53

Figura 15 - Comparação qualitativa do aspecto das fibras artificiais (coletor Tipo I) e naturais (coletor Tipo II) depois de meses de coleta dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (**Latreille, 1804**), na região de Flecheiras – CE.....55

Figura 16 - Tamanho médio mensal, com intervalo de confiança para 95% (linha vertical) por sexo da fase juvenil e pré-recruta da lagosta (*Panulirus argus*) na plataforma em frente a Acaraú - CE. Profundidade entre 3 e 5 m. Período mensal em 2014 e 2015.....57

Figura 17 - Composição por tamanho das lagostas juvenis e pré-recrutas por sexo para os anos de 2014 e 2015, na área de estudo de Acaraú – CE.....59

Figura 18 - Composição por tamanho dos juvenis e pré-recrutas de *Panulirus argus*, na plataforma continental de Acaraú (2° 46'S e 40° 05'W). Período: de janeiro a dezembro de 2014 e 2015.....60

Figura 19 - Mapa da plataforma continental de Acaraú (2° 46'S e 40° 05'W) das localidades selecionadas para a amostragem de lagosta por áreas.....62

Figura 20 - Relação entre os índices de abundância dos juvenis e os pré-recrutas. A linha descontínua representa a máxima defasagem (quatro meses) obtida através da correlação cruzada para o 95% de probabilidade.....63

- Figura 21** - Índice de abundância mensal dos adultos de *Panulirus argus* (a) e *Panulirus laevicauda* (b) na área D (Figura 15). A linha contínua paralela ao eixo da abscissa representa a abundância média e as linhas descontínuas, o intervalo de confiança para o 95%.....65
- Figura 22** - Estrutura do tamanho relativo das fêmeas de lagostas *Panulirus argus* coletadas na plataforma continental do Nordeste do Brasil, região de Acaraú - CE. Período 2014-2015.....66
- Figura 23** - Estrutura do tamanho relativo das fêmeas de lagostas *Panulirus argus* (Latreille, 1804) coletadas na plataforma continental do Nordeste do Brasil. Período 2001-2003.....67
- Figura 24** - Esboço teórico do padrão de recrutamento da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804), na plataforma continental do Brasil, referente à evolução de uma coorte desde o nascimento, representado pelo ciclo de reprodução, no momento em que recruta na costa brasileira (recrutamento larval), aos criadouros da fase juvenil e finalmente à população adulta.....70
- Figura 25** - Padrão estacional da descarga média do rio (1968-2015) Amazonas (m³/seg) comparados com outros rios da região Norte e Nordeste do Brasil: rio Acaraú (2005-2015), rio Tocantins (1978-2015), rio Tapajós (1968-2013), rio Parnaíba (1982-2007) e rio Gurupi (1972-2015).....73
- Figura 26** - Relação entre índice de abundância média dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e a descarga média do rio Amazonas (m³/seg) entre 1970-2015 (línea contínua escura) e seu intervalo de confiança para 95% (línea descontínua).....74
- Figura 27** - Relação entre o índice de abundância dos juvenis da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e a descarga média do rio Amazona (m³/seg) entre 1970-2015 (línea contínua escura) e seu intervalo de confiança para 95% (línea descontínua). Período: 2014-201575
- Figura 28** - Análises de correlação cruzada entre o índice de abundância dos juvenis e a descarga do rio Amazonas. Período: 2014-2015.....75

Figura 29- Mapa mostrando a direção (flecha) e intensidade (coorte) da Corrente norte do Brasil. Amostragem de juvenis em Acaraú. Período: abril, maio e junho de 2003, 2005, 2006).....76

Figura 30 - Esboço teórico da dinâmica do ciclo de vida da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) por faixa de profundidade na plataforma continental do Brasil79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descarga média anual dos principais rios da região Norte e Nordeste (presente estudo) e outras zonas do Brasil e América do Sul.....	72
---	----

SUMÁRIO

1 Introdução.....	17
2 Revisão da literatura.....	21
2.1 Diversidades da população de lagostas no Brasil.....	22
2.2 Espécies de lagostas comerciais e não comerciais.....	23
2.3 Aspectos biológicos, pesqueiros e ciclo reprodutivo.....	25
2.4 Recrutamento e circulação oceânica.....	26
2.5 Estoques de lagosta e predição da pescaria.....	28
2.6 Avaliação da pescaria e medidas de gestão.....	29
2.7 Outros estudos essenciais.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Descrições da área de estudo.....	32
3.2 Métodos de amostragem.....	34
3.3 Amostragem do recrutamento.....	36
3.3.1 Assentamento dos puerulus.....	37
3.3.2 Abundância dos juvenis e pré-recrutas.....	41
3.4 Amostragens de adultos.....	42
3.5 Índices de potencial reprodutivo.....	43
3.6 Índice de eficiência reprodutiva das classes de tamanho de fêmeas..	43
3.7 Características da descarga do rio Amazonas.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47

4.1 Características gerais da população amostrada.....	47
4.2 Assentamento dos puerulus e juvenis.....	50
4.3 Análise do fator de eficiência e custos do coletor de puerulus	54
4.4 Dinâmica do recrutamento dos juvenis e pré-recrutas.....	55
4.5 Distribuição espacial e variabilidade da abundância.....	62
4.5.1 Juvenis e pré-recrutas.....	62
4.5.2 Adultos	64
4.6 Índice do potencial reprodutivo (IPR).....	66
4.7 Padrões de recrutamento da lagosta <i>Panulirus argus</i>.....	68
4.8 Relações do recrutamento com descarga do rio Amazonas	71
4.9 Inter-relações ecológicas do ciclo de vida da lagosta (<i>Panulirus argus</i>).....	78
5 CONCLUSÕES.....	85
6 RECOMENDAÇÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

1 Introdução

As lagostas espinhosas do gênero *Panulirus* (White, 1847) são predadores chaves dos ambientes bentônicos, responsáveis pela manutenção dos níveis tróficos desses ecossistemas (CRUZ; BERTELSEN 2009; CRUZ *et al.* 2011). A lagosta-vermelha *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e verde *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817) são as espécies mais cobiçadas nas pescarias marinhas no Caribe há mais de dois séculos, de acordo com as descrições do Português Manuel Antonio Parra em 1787 (CRUZ, 2003). No Brasil a pesca data há mais de 60 anos (CAVALCANTE, *et al.*, 2011).

No Brasil, a pesca de lagostas afeta principalmente as espécies *Panulirus argus* (Latreille, 1804), *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817), *Panulirus echinatus* (Smith, 1869), *Scyllarides brasiliensis* (Rathbun, 1906), *Scyllarides delfosi* (Holthuis, 1960) e *Parribacus antarcticus* (lagostas sapateiras) (Lund, 1793). As duas primeiras espécies, no ano de 2011, totalizaram 6.929 toneladas deste recurso, no entanto não existem dados estatísticos e nem regulamentação pesqueira para *P. echinatus* e as espécies família *Scyllaridae* (sapateiras) (CRUZ *et al.*, 2013a).

É sabido que o recrutamento larval de uma espécie ao estoque capturável, depende do conhecimento dos fatores hidrometeorológicos e biológicos que funcionam durante as diferentes fases do ciclo de vida. Lamentavelmente, muito pouca informação é disponível sobre o período de recrutamento da larva filossoma das lagostas espinhas nas águas da plataforma continental do Brasil e sua relação com as dinâmicas das correntes oceanográficas que transportam larvas de lagosta por centenas de quilômetros (CRUZ *et al.*, 2015).

A sobrepesca dos estoques de lagostas tem influenciado diretamente a abundância dessas populações e vem afetando o equilíbrio dos ecossistemas bentônicos (CRUZ; BERTELSEN, 2009). A maior parte do conhecimento sobre biologia e populações de lagostas no Brasil advém de dados pesqueiros, estudos através de capturas dos animais e experiências de cultivo (FONTELES-FILHO 1997, 2007; CARVALHO e OGAWA, 2001; CRUZ *et al.* 2011). Apesar da sua importância, poucos trabalhos abordaram os padrões de recrutamento e sua relação com os fatores ambientais. No entanto, Cruz *et al.*

(2015) relataram a relação do recrutamento com as variações sazonais das correntes locais, de correntes de retroflexão e de formação de vórtices para esclarecer aspectos importantes do transporte larval, do assentamento e do recrutamento de puerulus.

Estudos por Sarver *et al.* (2000) e Diniz (2005a, 2005b), usando marcadores moleculares mostram diferenças genéticas entre *P. argus* capturada no Caribe e no Brasil. De fato, devido à longa duração da fase de filossoma dos panulídeos (PHILLIPS *et al.*, 2006), as larvas podem regressar ao litoral do Brasil como puerulus através de correntes de retroflexão, desta forma garantindo o autorecrutamento anual (CRUZ *et al.*, 2015). Se isto for de fato o caso, então a população brasileira de *P. argus* e *P. laevicauda* é uma metapopulação fechada, sem conectividade com outras populações do Atlântico. Porém, na região do Caribe, por exemplo, as lagostas formam uma metapopulação aberta, um conjunto de populações espacialmente fragmentadas e conectadas através da mesclagem de larvas amplamente dispersas (BUTLER *et al.*, 2011). Estudos comparativos de estoques de lagostas podem contribuir para o gerenciamento deste importante recurso de pesca e mostrar a necessidade de adotar novas medidas regulatórias para aumentar o potencial reprodutivo e garantir um recrutamento sustentável.

Os trabalhos sobre ecologia e mais especificamente com estrutura populacional de lagosta *in situ* são escassos (OLIVEIRA, 2008). É notória a importância de averiguar como as populações se comportam *in situ*, pois assim, permite-se extrapolar esses dados com maior confiabilidade do que os registrados através da pesca.

Não existem trabalhos científicos do impacto da descarga do rio Amazonas sobre as fases filossomas, puerulus e juvenis das lagostas espinhosas. As características físicas da bacia amazônica abrangem uma área de drenagem da ordem de 6.112.000 Km², ocupando cerca de 42% da superfície do território nacional, estendendo-se além da fronteira da Venezuela à Bolívia. Seu principal curso d'água é o rio Amazonas, com extensão de 6.570 km, nasce em território peruano, no riacho Lauricocha, originário da lagoa do Niño, nas geleiras da cordilheira de Santa Anna, cerca de 5.000 m acima do nível do mar. Próximo a Manaus, bifurca-se com o Paraná do Careiro, estimando-se aí uma largura da ordem de 1.500m e profundidade em torno de

35 m. Entre a confluência do rio Negro e a região das ilhas, próximo a desembocadura, é conhecida por Baixo Amazonas.

Cruz e Bertelsen (2009) revisaram a dinâmica do ciclo de vida da *P. argus* e suas implicações para o gerenciamento sustentável da pesca, comparando a dinâmica reprodutiva e a de recrutamento da espécie no Caribe, mas o estudo foi baseado em dados referentes às águas rasas (01-30 m). Quanto às águas mais profundas, o risco de sobrepesca de recrutamento tende a ser subestimado, porque a pesca nessa faixa é limitada. Entretanto, mesmo um volume de pesca moderado de lagostas grandes com alto potencial reprodutivo em águas mais profundas representa um risco de sobrepesca de recrutamento (CRUZ *et al.*, 2013a, 2013b).

O litoral brasileiro como um todo tem sofrido sérios danos ambientais devido à problemática da sobrepesca. Dentre os recursos pesqueiros demersais da costa do Brasil, destacam-se os camarões e as lagostas. Os esforços de conservação, em áreas marinhas, têm ficado seriamente defasados em relação aos esforços em ambientes terrestres, tornando-se clara a necessidade de melhorar a proteção do ambiente marinho, tanto para recuperar estoques pesqueiros, quanto para preservar a biodiversidade.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo geral determinar a variação espacial e temporal da população da lagosta vermelha (*P. argus*) por faixa de profundidade, baseado em índices de abundância dos juvenis, pré-recrutadas e adultos, verificando a possível associação entre esses parâmetros e sua relação com o efeito da descarga dos rios do Norte e Nordeste do Brasil.

Como objetivos específicos, foram estabelecidos:

- Determinar a variação espacial através do comprimento da carapaça na população da lagosta *Panulirus argus* por faixa de profundidade (3-5 m, 10-20 m, 30-40 m e 50-100 m).
- Determinar a variação espaço-temporal do recrutamento dos puerulus, juvenis e pré-recrutadas da lagosta *Panulirus argus*.
- Determinar a variação do potencial reprodutivo por comprimento de carapaça, analisando a contribuição de cada classe de

tamanho de fêmeas para o número total de ovos produzidos na população de *Panulirus argus*.

- Avaliar o efeito da descarga do rio Amazonas sobre a variabilidade estacional do índice de assentamento dos puerulus e juvenis da lagosta *Panulirus argus*.

2 Revisão da Literatura

Os estudos das populações de lagosta vermelha (*Panulirus argus*), na plataforma continental do Brasil, têm acumulado um grande volume de informação científica sobre estes crustáceos que exige ser revisado bibliograficamente devido à sua importância econômica no contexto regional, nacional e mundial.

O problema das populações de lagosta, na plataforma continental do Brasil, está focalizado na pesca excessiva e sem controle do recurso lagosta, o qual se prolonga por mais de 50 anos. Isso equivale a um regime de acesso aberto, o qual tem gerado um estado de sobrepesca e um elevado grau de incerteza sobre o estado atual das populações (SANTANA *et al.*, 2015). Concomitantemente, estudos que integrem os processos biológicos e ecológicos e sua relação com eventos ambientais relevantes, como por exemplo, a variabilidade espacial e temporal da descarga do rio Amazonas, são indispensáveis para interpretar as variações da abundância das espécies capturadas, que permitirão estabelecer e controlar o nível de esforço pesqueiro. Apesar do ordenamento da pesca ser complicado em quase todos os casos de estudo, é prioritário estabelecer novas estratégias de pesquisas integradas para avaliar e ordenar a pesca artesanal e industrial da lagosta.

Destaca-se também, que não têm sido feitas atualizações das estimativas dos parâmetros populacionais de crescimento-idade e mortalidade, as quais constituem um dos aspectos importantes e de maior aplicação na avaliação dos recursos pesqueiros. Igualmente, estudos sobre o potencial alimentar (alimentação) dos crustáceos não foram realizados, e em particular da lagosta, considerando-se a composição do ecossistema bentônico e as características geomorfológicas por faixa de profundidade.

Os atuais modelos de extração e conceitos, na gestão dos recursos brasileiros de lagostas espinhosas, precisam ser revistos pela complexidade da cadeia de produção-comercialização e pelos problemas causados por diferentes externalidades¹ associadas. Santana *et al.* (2015) analisaram esse problema,

¹ Uma externalidade é definida como um efeito colateral imprevisto que traz benefícios ou malefícios para "terceiros", não diretamente envolvidos em uma atividade (TIETENBERG; LEWIS, 2014). As externalidades podem ser ambiental, social, de mercado ou econômica.

recomendando uma revisão abrangente dos modelos de legislação e da gestão para os Estados produtores, como passo crucial na recuperação das unidades populacionais comerciais e não comerciais de lagostas. Os autores destacaram que a plataforma continental brasileira não é dividida em zonas pesqueiras, o que torna impossível evitar a concentração de embarcações e esforço de pesca.

2.1 Diversidades da População de Lagostas no Brasil

A plataforma continental do Brasil apresenta uma grande diversidade de lagostas do Oceano Atlântico. Um total de vinte e uma espécies, aproximadamente, distribuídas em *habitats* diferentes ao longo das águas costeiras, insulares e atol oceânico, que se estende até uma profundidade de 1.000 metros (SILVA *et al.*, 2013). As capturas são direcionadas para as lagostas espinhosas *Panulirus argus* (Latreille, 1804) lagosta vermelha, e lagosta verde *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817). A lagosta pintada *Panulirus echinatus*, Smith, 1869 e espécies da Família Scyllaridae Latreille, 1825 são capturadas como fauna acompanhante. *Scyllarides brasiliensis* Rathbun, 1906, *Scyllarides delfosi* Holthuis, 1960 e *Parribacus antarcticus* (Lund, 1793), no norte e nordeste e *Scyllarides deceptor* Holthuis, 1963 e *Scyllarus chacei* Holthuis, 1960 no sul do Brasil (SILVA *et al.*, 2012), são obtidas como parte da captura de camarão com redes de arrasto, principalmente.

Outras espécies foram relatadas por diferentes levantamentos de campo no Brasil. Um grupo de espécies que eram mais comuns no talude (200-1000 m) na plataforma da costa norte: *Nephropsis aculeada* Smith, 1881 *Acanthacaris caeca* A. Milne-Edwards, 1881 *Nephropsis rosea* Spence Bate, 1888 *Palinustus truncatus* A. Milne-Edwards, 1880 *Polycheles typhlops* Heller, 1862 *Stereomastis sculpta* (Smith, 1880) e *Nephropsis neglecta* Holthuis, 1974. Na costa central do Brasil, habitam as seguintes espécies: *Justitia longimana* (H. Milne Edwards, 1837), *Nephropsis agassizii* A. Milne-Edwards, 1880 *Pentacheles laevis* Bate, 1878 *Pentacheles validus* A. Milne-Edwards, 1880 *Scyllarus depressus* (Smith, 1881) e *Bathyarctus ramosae* (Tavares, 1997).

Na costa do estado do Amapá (04° 26'N e 51° 32'W) e Pará (1° 11'N e 46° 27'W), a diversidade das lagostas capturadas entre 4 e 626 m de profundidade é muito ampla. Os 44 espécimes de lagostas identificadas,

pertenciam a nove espécies: *Acanthacaris caeca* A. Milne-Edwards, 1881 *Nephropsis aculeada* Smith, 1881 *Nephropsis rosea* Spence Bate, 1888 *Palinustus truncatus* A. Milne-Edwards, 1880 *Panulirus argus* (Latreille, 1804), *Parribacus antarcticus* (Lund, 1793), *Polycheles typhlops* Heller, 1862 *Scyllarides delfosi* Holthuis, 1960 e *Stereomastis sculpta* (Smith, 1880) (SILVA *et al.*, 2013). Por outro lado, uma fêmea ovígera de *Scyllarus chacei* Holthuis, 1960 TL 30,3 milímetros, CL 14 milímetros, peso total de 12,44 g (ovos que apresentem os olhos como pontos pretos ovais de pré-incubação), foi capturada na zona de pesca de camarão do Estado do Amapá, fundo lamacento, a 72 m de profundidade. O presente registro amplia a distribuição geográfica conhecida para esta espécie no Brasil para o Norte (SILVA *et al.*, 2012).

Apesar da importância ecológica e econômica que representa a lagosta para o mundo e o Brasil, ainda não foi realizado um estudo abrangente para esclarecer muitos aspectos do ciclo de vida, as relações estoque e recrutamento, a variação dos recrutamentos, os mecanismos de transporte larval e sua relação com os adultos.

2.2 Espécies Comerciais de Lagosta

A lagosta *Panulirus argus* é a espécie mais importante do Oceano Atlântico Centro Ocidental e Sudeste e representa aproximadamente 70% das capturas do Brasil. Sua faixa de distribuição, na plataforma continental do Brasil, encontra-se entre os estados do Amapá (02°N) e Espírito Santo (19°S) (FONTELES-FILHO, 1997; CRUZ *et al.*, 2011). Segundo Paiva (1997), não há registros de agregações de lagostas espinhosas entre os estados do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul. Teschima *et al.* (2012), reportaram três indivíduos de *P. argus* e um de *P. laevicauda* (censo visual), na costa do estado de São Paulo (21°S). Giraldes e Smith (2016) reportam que a faixa de distribuição, no litoral brasileiro, está situada entre os estados do Pará (0°S) e Santa Catarina (27°S). No entanto, Tourinho *et al.* (2012) relatam uma incerteza sobre os reportes a partir dos 21°S, e sugerem que a presença das espécies tenha ocorrido devido o transporte antropogênico. Neste complexo cenário, é preciso revisar a distribuição e conectividade destas populações no Brasil.

Panulirus argus apresenta corpo cilíndrico e espinhoso, com antenas muito longas e finas e sulco transversal nos anéis do abdômen. Possui uma cor avermelhada, amarronzada e, em algumas ocasiões, esverdeada com quatro manchas de cor esbranquiçada ou amarelas localizadas no segundo somito abdominal ou na base da pleura. Habita geralmente fundos rasos rochosos, apesar de exemplares serem capturados em profundidades entre 70 e 150 m (discutido no presente estudo). O tamanho máximo pode alcançar de 174 mm (CC) e 231 mm (CC) nos machos e fêmeas, respectivamente (SILVA *et al.*, 2003, 2008).

Panulirus laevicauda representa 30% das capturas de lagosta no Brasil. É a segunda espécie mais importante do Oceano Atlântico Centro Ocidental e Sudoeste. Apresenta corpo cilíndrico e espinhoso, com antenas muito longas e finas, cor esverdeada e anéis do abdômen completamente lisos. Habita normalmente fundos rasos rochosos. Sua importância comercial, na plataforma continental do Brasil, representa 29% dos desembarques (FONTELES-FILHO, 2000). No Caribe, poucos exemplares são capturados. Na costa brasileira, são observados indivíduos em reprodução e com tamanhos entre 80 e 180 mm (CC), (CRUZ *et al.*, 2014). Coincide em *habitat* com *P. argus* até uma profundidade de 40 m, sendo o tamanho máximo relatado de 127 mm (CC) (FAO, 1991).

Panulirus echinatus tem importância comercial (doméstica) no Arquipélago de Fernando de Noronha-PE (PAIVA, 1997; FONTELES-FILHO, 2000). Coincide em *habitat* com *P. argus*. O tamanho máximo relatado foi de 190 mm (CC) (FAO, 1991). Sua distribuição geográfica inclui numerosas ilhas do Oceano Atlântico Central (HOLTHUIS, 1991), na plataforma continental. *P. echinatus* tem corpo cilíndrico e espinhoso, com antenas muito longas e finas. Assim como *P. argus*, possui um sulco transversal nos anéis do abdômen. O corpo tem cor avermelhada, coberto com manchas redondas esbranquiçadas, principalmente, nos anéis abdominais. As patas e antenas apresentam linhas amareladas ou esbranquiçadas. Normalmente habita os fundos rochosos.

As observações de campo sugerem que das três espécies de *Scyllaridae* citadas, *S. brasiliensis* é a mais abundante, seguida de *S. delfosi* e *P. antarcticus*. Essas populações têm sido pouco estudadas e, apesar de sua importância no ecossistema bentônico, não têm sido relatadas nas estatísticas de pesca por espécie.

2.3 Aspectos Biológicos, Pesqueiros e Ciclo Reprodutivo

No Brasil, nas décadas dos anos 1960 e 1970, as pesquisas sobre lagostas espinhosas estiveram dirigidas ao conhecimento dos aspectos biológicos e pesqueiros. Destacam-se os trabalhos de Paiva (1961), Santos *et al.* (1964), Santos e Ivo (1973) e Ivo (1975) sobre o crescimento e a idade, a partir dos dados de composição do tamanho das lagostas desembarcadas em diferentes pontos da região costeira. Os primeiros estudos biométricos foram desenvolvidos por Borges (1964), Rolim e Rocha (1972). Outros estudos voltaram-se para as generalidades sobre o comportamento biológico das espécies comerciais, principalmente entre 1965 e 1975 (PAIVA, 1965; PAIVA e COSTA, 1968; SANTOS e IVO, 1975).

As generalidades dos aspectos reprodutivos, tais como ciclo de desova e desenvolvimento da escala de cores por Buesa e Alves (1970), foram de grande utilidade no estudo do ciclo reprodutivo da espécie na área do Grande Caribe (CRUZ, 2002) e no Atlântico e Indo Pacífico (CRUZ *et al.*, 1982). Além disso, os estudos sobre as gônadas e suas estruturas histológicas, o número de ovos da lagosta, os tamanhos de primeira maturação, as observações sobre a origem e o desenvolvimento da massa espermatofórica, os aspectos cronológicos da reprodução da lagosta *Panulirus argus*, a época de reprodução, o tamanho e a idade na primeira desova da lagosta *Panulirus laevicauda*, a dinâmica reprodutiva das lagostas vermelha e verde foram pesquisas de referências para a região do Atlântico (PAIVA e COSTA, 1963; PAIVA e SILVA, 1962; ALVES e TOMÉ, 1965, 1966a, 1966b, 1967, 1969; ALVES e BEZERRA, 1968; ALVES e PAIVA, 1976; MESQUITA, 1973; MESQUITA e GESTEIRA, 1975a, 1975b; SOARES e CAVALCANTE, 1984; IVO e GESTEIRA, 1986). No século XXI, os estudos de campo nas águas do sudoeste de Cuba e no norte do Brasil, têm melhorado a compreensão das variações do potencial reprodutivo (abundância ovos), do estoque-recrutamento e da eficiência reprodutiva de lagostas com relação à localização, à profundidade e ao tamanho de classe (CRUZ *et al.*, 2014).

As referências sobre os estudos de campo do Grande Caribe têm aumentado a compreensão da atividade reprodutiva, as mudanças na reprodução por localidade-profundidade, o tamanho na maturidade, a fertilidade e o tamanho relativo do índice de produção de ovos como um indicador do potencial

reprodutivo (CRUZ; BERTELSEN, 2009). Além disso, a variabilidade no recrutamento de várias fases de vida da lagosta no Caribe (*Panulirus argus*) tem permitido estabelecer sua relação com os adultos e a pesca, bem como o sincronismo entre as fases de recrutamento de *P. argus* (CRUZ *et al.*, 2001).

2.4 Recrutamento e Circulação Oceânica

No Brasil, embora resultados recentes tenham melhorado a compreensão sobre o padrão sazonal do assentamento dos puerulus e a abundância dos juvenis (CRUZ *et al.*, 2015), pesquisas integradas sobre a variabilidade do recrutamento sazonal e anual das populações de lagosta ainda são incipientes. A importância de compreender a circulação oceânica para atingir um melhor entendimento do recrutamento larval tem sido assinalada por diversos autores (PHILLIPS *et al.*, 1980, 2000). Nesse sentido, se fazem necessárias mais pesquisas sobre as variações sazonais das correntes locais, de correntes de retroflexão e da formação de vórtices para esclarecer aspectos importantes de transporte larval, assentamento e recrutamento.

As lagostas espinhosas apresentam cinco grandes fases durante seu ciclo vital: ovo, larval (filossoma), puerulus, juvenil e adulto (PHILLIPS *et al.*, 1980; LIPCIUS e COBB, 1994). Embora as duas primeiras fases não tenham sido estudadas, na região oceânica do Brasil, foi postulado por Cruz *et al.* (2015) que depois do acasalamento das lagostas em águas profundas, as fêmeas incubam seus ovos e liberam as larvas (Estágio I). No arquipélago cubano, as fêmeas migram vários quilômetros até a borda da plataforma continental (quebra da plataforma) para realizar essas funções fisiológicas. As larvas são planctônicas e seu desenvolvimento em águas oceânicas podem se estender entre 6 -7 meses, dependendo da data da estação e desova, muito próximas às reportadas (6 - 8 meses) no Caribe (LEWIS *et al.*, 1951; BAISRE, 1976; ALFONSO *et al.*, 1991). As larvas são foto-trópicas negativas, sua maior densidade acontece durante a noite entre 10 e 50 m, e entre 40 e 90 m no dia. As máximas densidades estão acima da isoterma de 25°C e os estágios finais se encontram a partir dos 40 km da costa (ALFONSO *et al.*, 1995), na plataforma insular de Cuba. Na costa do Brasil, a partir da isóbata dos 200 m, apesar de sua distante costa poder variar conforme a configuração da plataforma continental (CRUZ *et al.*, 2015).

Após a metamorfose da última etapa larval para puerulus, com capacidade de natação, os novos recrutas migram para o litoral, onde o assentamento ocorre em águas costeiras em clones de várias espécies de algas (*Gracilaria sp*) reportadas, na área de Flecheiras – CE (3°14.5'S e 39°13.5'W) CRUZ *et al.* (2015). No Caribe, o assentamento ocorre em algas vermelhas *Laurencia spp* (MARX e HERRNKIND, 1985; HERRNKIND e BUTLER, 1986) e em raízes de mangue ocasionalmente flutuantes (WITHAM *et al.*, 1964). Há referências aos aspectos relacionados à ocorrência de puerulus de lagosta nas pescarias de camarão, nas praias de Fortaleza (CONCEIÇÃO, 1987) e à pesca de juvenis (*P. argus* e *P. laevicauda*), na região costeira do Ceará (FONTELES-FILHO, 1997; MENDES, 1989). De acordo com Cruz *et al.* (2011), não há nenhuma evidência clara de uma relação causa e efeito entre as variáveis ambientais (precipitação e temperatura) e abundância de pré-recruta, embora uma correlação cruzada significativa foi observada entre El Niño Oscilação Sul e a abundância de pré-recruta em nove meses. Por outro lado, segundo Fonteles-Filho (1986), a abundância de adultos (*P. argus*) e de recrutas (<60 mm, comprimento cefalotórax CC) pode ser influenciada pelas chuvas.

Da mesma forma, as capturas de *P. argus*, *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817), *Jasus edwardsii* (Hutton, 1875) e *Panulirus japonicus* (von Siebold, 1824) têm sido associadas às condições oceânicas específicas durante a fase larval (PHILLIPS *et al.*, 2000).

O período larval de *P. argus* no oceano é bastante longo, entre 6 e 12 meses (LEWIS *et al.*, 1952; FARMER e LUCKHURST, 1987; KITAKA, 1994). Durante este período, correntes superficiais e profundas transportam as larvas a centenas de quilômetros, muito provavelmente, misturando populações de larvas de diferentes origens no Caribe (LYONS, 1980; SILBERMAN e WALSH, 1994). Por outro lado, estudos de Sarver *et al.* (2000) e Diniz *et al.* (2005), utilizando marcadores moleculares, mostraram diferenças genéticas de *P. argus* capturadas no Caribe e Brasil. Portanto, as investigações sobre a dinâmica de recrutamento da lagosta devem ser específicas de cada região.

A fase juvenil das diferentes espécies de lagostas não foi estudada no litoral brasileiro. São desconhecidas as diferentes fases de desenvolvimento dos juvenis, os índices de abundância em criadouros naturais, o seu comportamento migratório, os índices de mortalidade, a taxa de crescimento por tamanho, a

variação espaço temporal do recrutamento e o recrutamento à área do estoque adulto.

Há pesquisas sobre a pesca de juvenis (*P. argus* e *P. laevicauda*), na região costeira do Ceará (FONTELES-FILHO, 1997; MENDES, 1989). Recentemente, Cruz *et al.* (2015) estudaram as variações temporais no recrutamento da lagosta, no arquipélago cubano e na plataforma continental do Brasil, com base em índices de assentamento de puerulus e abundância juvenil, para verificar possíveis associações entre esses parâmetros e a circulação oceânica de grande escala, a fim de obter uma melhor compreensão da dinâmica do transporte larval.

O entendimento do recrutamento de uma espécie ao estoque disponível à pesca depende do conhecimento de fatores oceanográficos e biológicos, que ocorrem durante as diferentes fases do ciclo de vida. Lamentavelmente, nos últimos 40 anos, poucas informações foram geradas sobre o longo período larval de lagostas em águas brasileiras e sua relação com a complexa circulação das correntes, que permite o transporte das larvas a centenas de quilômetros. O ciclo de vida da lagosta ainda é pouco compreendido e dados sobre assentamento dos puerulus são muito limitados (CONCEIÇÃO, 1987; CONCEIÇÃO *et al.*, 1996).

2.5 Estoques de Lagosta e Predição da Pescaria

Cruz *et al.* (2014) reportaram, na plataforma continental brasileira, que a lagosta (*Panulirus argus*) constitui uma população fechada, com dois estoques distintos: uma em águas rasas (<50 m) e um outro em águas mais profundas (50-100 m). Ambos são altamente pescados, especialmente animais jovens com tamanho inferior ao mínimo legal (<75 mm CC) e indivíduos mais velhos. Os autores concluíram que as lagostas que desovam em águas mais profundas, tem um comprimento de primeira captura de 96 mm CC, classe de tamanho (90-99 CC mm) que coincide com a de maior potencial reprodutivo. Os resultados mostraram que o aumento do tamanho mínimo legal de captura de lagosta vermelha seja susceptível para melhorar os desembarques a longo prazo, desde que medidas apropriadas de controle sejam firmemente projetadas e executadas.

A análise da abundância relativa às primeiras fases permite definir os padrões de recrutamento e as tendências para prever o recrutamento, e assim

estabelecer a sua relação com os indivíduos adultos e a pescaria. Cruz *et al.* (2014) reportam que o declínio observado, nos desembarques de lagostas, ao longo das últimas duas décadas, pode ser devido à sobrepesca de crescimento em águas rasas, já que mais da metade das lagostas colhidas estão abaixo do tamanho mínimo legal (75 mm CC), considerando um comprimento de primeira captura de 61 mm CC. Lagostas que desovam em águas mais profundas tem um comprimento de primeira captura de 96 mm CC, classe de tamanho (90-99 CC mm) que coincide com a de maior potencial reprodutivo. Além disso, a captura de fêmeas ovígeras e lagostas mais velhas (>135 CC mm) em águas mais profundas aumenta o risco de baixo recrutamento e colapso da pesca.

Nas espécies brasileiras, não foi conseguido prever capturas, mas no arquipélago cubano isso foi projetado a partir da abundância dos juvenis (CRUZ; ADRIANO, 2001). No Caribe mexicano (BRIONES e GUTIERREZ, 1991; BRIONES, 1994) planos semelhantes são desenvolvidos para a pesca de *P. argus*. Na Austrália Ocidental, vários métodos de previsão foram desenvolvidos a partir de taxas de puerulus (PHILLIPS, 1986) e juvenis (CAPUTI *et al.*, 1991; CAPUTI *et al.*, 1995).

2.6 Avaliação da Pescaria e Medidas de Gestão

A fim de alcançar uma gestão eficiente dos recursos no Brasil, tem-se feito uma extensa pesquisa sobre a dinâmica populacional. Numerosos trabalhos foram realizados sobre avaliação pesqueira mediante a aplicação de diversas técnicas, como a pesca ilegal de lagosta (FONTELES-FILHO, 1994a), o estudo comparativo da pesca de lagosta com manzuás e redes (IVO e NETO, 1996), a distribuição espacial das espécies (*P. argus* e *P. laevicauda*), no Nordeste do Brasil, (FONTELES-FILHO, 1997), entre outros.

Para caracterizar o estado de exploração dos diferentes estoques comerciais e aqueles que são capturados como fauna associada, Cruz *et al.* (2014) analisaram as tendências dos índices de produtividade (kg/km²/ano) de vários estoques (*P. argus*, *P. laevicauda* e o grupo das lagostas sapateiras), propondo medidas eficientes de controle que podem proteger e recuperar populações alvos e não-alvos, além de sugerir a adoção de novas medidas regulatórias.

Santana *et al.* (2015) analisaram os atuais modelos de extração e gestão de recursos brasileiros de lagostas espinhosas e os problemas causados por diferentes tipos de externalidades associadas. A plataforma continental brasileira não é dividida em zonas pesqueiras, o que torna impossível evitar a concentração de embarcações e o esforço de pesca. A cadeia de produção e a comercialização da lagosta espinhosa é complexa, uma vez que são utilizadas embarcações de variados tamanhos, diferentes métodos e equipamentos de pesca legais ou ilegais. De um modo geral, os pescadores desrespeitam os atuais regulamentos sobre o uso e acesso ao recurso. Isso equivale a um regime de acesso aberto o qual o pescador individual pode se apossar diretamente do recurso. O acesso irrestrito leva à exploração predatória da propriedade comum, impede a alocação racional de recursos e gera externalidades negativas.

2.7 Outros Estudos Essenciais

Existem aspectos biológicos e pesqueiros que precisam ser atualizados e outros ainda devem ser pesquisados, destacam-se os seguintes:

A- Não existe uma identificação morfológica precisa das pós-larvas de lagosta por espécie. Estima-se que mais de 20 (vinte) espécies de lagosta habitem a costa brasileira e pouco se sabe sobre a distribuição e conectividade de suas populações, e menos ainda sobre seu recrutamento. Atualmente, a caracterização genético-molecular das formas jovens é relativamente simples. Abordagens genéticas já foram realizadas previamente para populações de lagosta adulta da costa brasileira através de marcadores de DNA mitocondriais e nucleares que provaram ser extremamente úteis na discriminação de espécies e populações (DINIZ *et al.* 2005, 2007; TOURINHO *et al.* 2012). No entanto, além da identificação genética, a descrição morfológica dos estágios puerulus, pós-puerulus e juvenis de cada espécie é útil e necessária;

B- Desconhecimento da distribuição das larvas filosoma na plataforma continental e na região oceânica do Brasil.

C- Atualização das estimativas dos parâmetros populacionais de crescimento-idade e mortalidade;

D- Estudos sobre o potencial alimentar (alimentação) dos crustáceos não foram realizados, e em particular da lagosta, considerando-se a composição do

ecossistema bentônico e as características geomorfológicas por faixa de profundidade;

E- Inexistência de dados atualizados de captura e esforço para avaliar os recursos pesqueiros (lagosta) e o estado de saúde dos estoques na plataforma continental. Porém, Cruz et. al., (2013) utilizaram métodos alternativos, nos quais consideram a produtividade e intensidade da pesca e ofereceram um valor estimado da captura potencial da lagosta *Panulirus argus* e *Panulirus laevicauda*, separadamente;

F- Os aparelhos de pesca não são seletivos, o “manzuá” ou “covo”, não têm dispositivo de exclusão (janelas de saída ou escape, “gaps” em Inglês) que permitam o escape de lagostas inferior ao tamanho legal e de outras espécies não alvos para reduzir a incidência de fauna acompanhante;

G- Os atuais modelos de extração e conceitos na gestão dos recursos brasileiros de lagostas espinhosas precisam ser revistos pela complexidade da cadeia de produção-comercialização e pelos problemas causados por diferentes externalidades associadas.

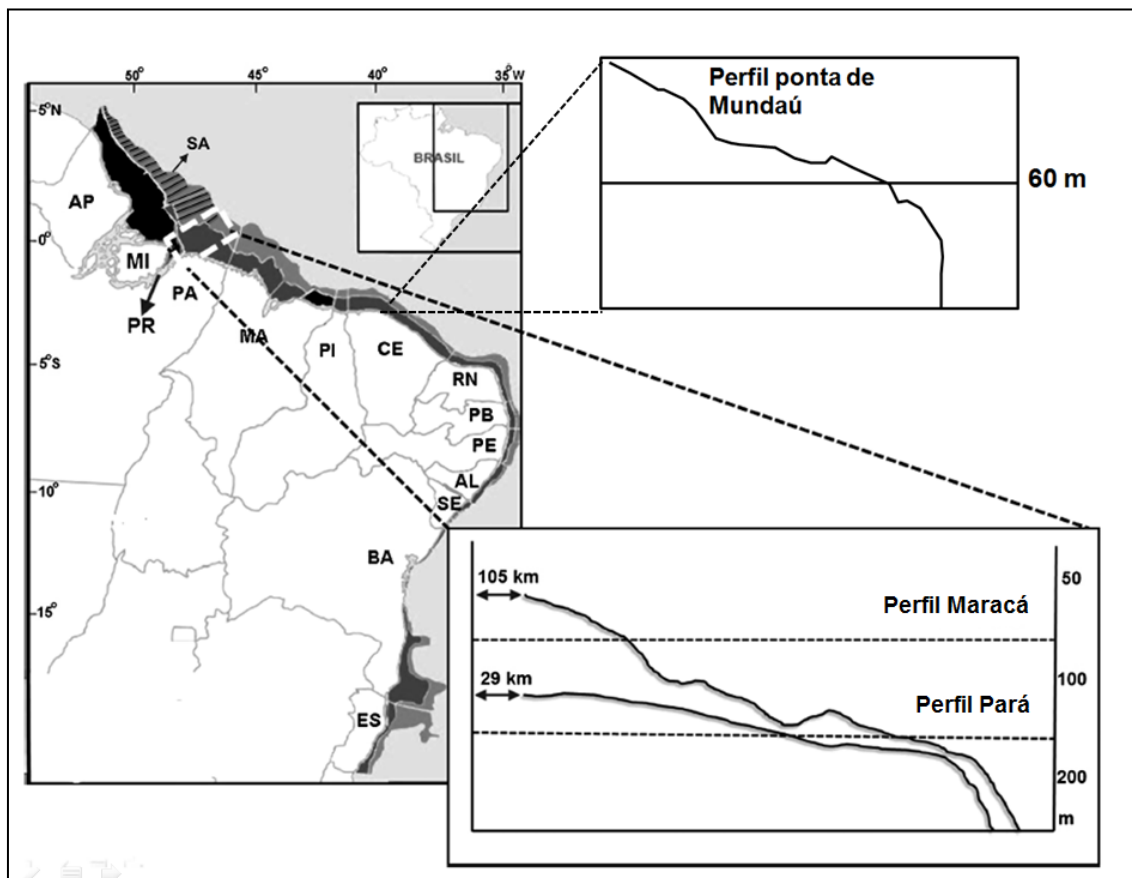
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrições da área de estudo

A distribuição das lagostas, na margem equatorial do Atlântico, inclui toda a plataforma continental do Brasil (356.610 km²), do Amapá (04°26'N e 51°32'W) ao Espírito Santo (21°17'S e 40°56'W). A *Panulirus argus* é amplamente distribuída em águas rasas e profundas sobre fundos de bancos de algas calcárias, pedras, corais e com variados tipos de sedimentos (SILVA *et al.*, 2003; CRUZ *et al.*, 2011) e habita a uma profundidade entre 1 a 100 m, embora os pescadores reportam que as lagostas vermelhas podem ser pescadas até uma profundidade de 150 m. Os estoques da Plataforma Continental do Norte do Brasil (PCNB) habitam em uma área de 64.230 km² (CRUZ *et al.*, 2011) e são distribuídos em dois perfis topográficos, de acordo com Coutinho e Moraes (1970): Ilha de Maracá, de 0 a 105 km a partir da Ilha do Marajó, a uma profundidade de 1 a 23 m, seguido por um talude de transição suave até 800 m; e Rio Pará, de 0 a 29 km a partir da desembocadura, a uma profundidade de 1 a 28 m, seguido por um talude um pouco mais íngreme (Figura 1).

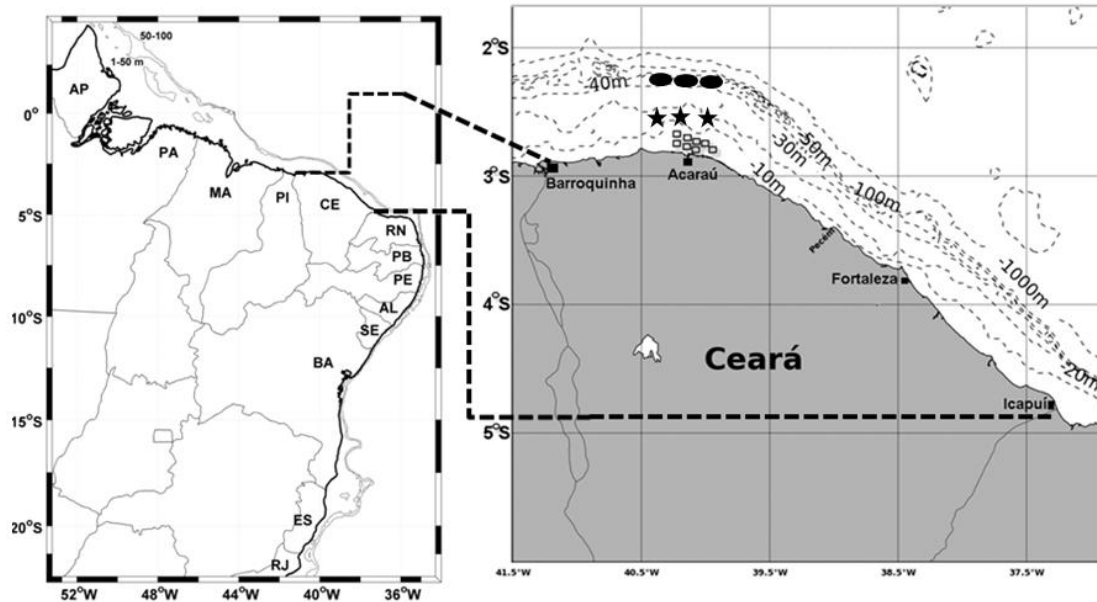
A plataforma continental do Nordeste do Brasil (Figura 2) é relativamente larga e rasa, seguida por uma abrupta queda a partir de uma profundidade de aproximadamente 60 m. As águas costeiras do Nordeste do Brasil apresentam extensos bancos de algas calcárias, especialmente Ceará e Rio Grande do Norte, possivelmente devido à ausência de grandes rios e, conseqüentemente, a quantidades muito pequenas de descarga fluvial (COUTINHO; MORAIS, 1970).

Figura 1 - Mapa mostrando a distribuição das lagostas espinhosas correspondente a cada Estado ao longo da plataforma continental brasileira



Fonte: Elaborada pelo autor, modificado de COUTINHO e MORAIS, 1970. Legenda: Amapá (AP), Pará (PA), Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE), Bahia (BA) e Espírito Santo (ES). Preto = fundo enlameado; cinzento escuro = águas rasas (<math>< 50\text{ m}</math>); cinza claro = águas mais profundas (> 50 m); SA = área de amostragem (linhas paralelas) (modificado de CRUZ *et al.*, 2011). As caixas retangulares (direita) mostram os perfis da plataforma continental ao largo da Ilha do Marajó (IM), fora do Rio Pará (PA) e a partir da ponta de Mundaú (CE).

Figura 2 – Região costeira do litoral Norte e Nordeste do Brasil habitada pelas lagostas.²



Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: à esquerda: Área na plataforma continental brasileira (profundidade: 1-100 m) habitadas pelas lagostas comerciais *Panulirus argus* (Latreille, 1804), e *Panulirus laeviscauda* (Latreille, 1817); à direita: zonas de distribuição das lagostas do Estado do Ceará, a partir do município de Barroquinha (03 ° 01'08 "S; 41 ° 08'10"W) para o município de Icapuí (04°42'47"S; 37°21'19" W), com a indicação da profundidade em metros; as áreas de amostragem são ilustradas na continuação: os retângulos representam as áreas de águas rasas (3-5 m), as estrelas representam as profundidades entre 10-20 m e a elipse preta representam as profundidades entre 30-40 m.

3.2 Métodos de amostragem

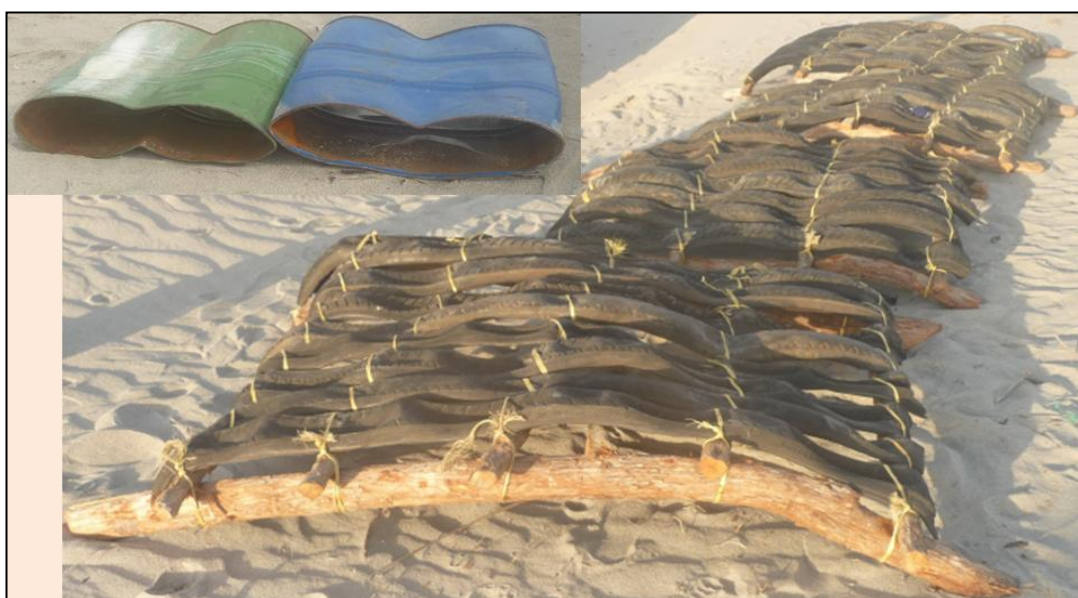
Foi utilizada a amostragem aleatória estratificada por faixa de profundidade (3-5 m, 10-20 m, 30-40 m e 50-100 m) para estudar a variação espaço-temporal das abundâncias de lagostas e a composição por tamanho referido ao comprimento da carapaça (CC), com o objetivo de conhecer a distribuição espacial durante o desenvolvimento ontogenético da lagosta. As

² Fortaleza é a capital do estado. O município de Acaraú (2°46'S e 40°05'W) é um importante porto de desembarque de lagosta.

zonas de pesca no estado do Pará (Figura 1) e no estado do Ceará (região costeira de Acaraú, Figura 2) foram escolhidas para realizar as coletas.

Na região de Acaraú, a amostragem foi realizada em refúgios artificiais (RA), denominados “marambais” (Figura 3) por pescadores locais, confeccionados de madeira de mangue, pneus de moto e também com tambores metálicos comprimidos. As dimensões variam e, em geral, cobrem uma superfície entre 2 e 3 m². As lagostas são capturadas por pescadores-mergulhadores sem a utilização de compressores de ar, a uma profundidade entre 3-10 m (águas rasas).

Figura 3 - Refúgios artificiais.



Fonte: Elaborada pelo autor. Nota: refúgios artificiais denominados marambais, confeccionados de madeira de mangue, pneus de moto e também com tambores metálicos comprimidos.

Durante o desenvolvimento da pesca, os pescadores também utilizaram armadilhas com isca (AI) em profundidades que variaram entre os 20 e 40 m (águas médias). A amostragem em águas fundas (50-100 m) foi realizada na costa norte do Brasil (estado do Pará), devido ao talude da plataforma, no estado do Ceará, cair abruptamente na maioria das vezes, depois dos 60 m (como explicado anteriormente), colocando essas áreas fora das operações de pesca.

Os equipamentos de pesca foram amostrados mensalmente, no período de 2014 e 2015, em três intervalos de profundidade (3-5 m, 10-20 m, 30-40 m). Os animais foram classificados segundo sexo e comprimento da carapaça (CC) foi medido com um paquímetro de 200 mm (precisão: 1 mm).

O estoque, por definição, é o conjunto de animais sob regime de exploração (LAUREC; LE GUEN, 1981) e sua abundância pode definir-se como o número de indivíduos (organismos) encontrados em uma área geográfica determinada. A abundância da espécie é um substituto, comumente, utilizado para o tamanho da população, pensado para refletir a situação da população de uma espécie dentro de um local específico, por exemplo, se a população cresce ou não ao longo do tempo.

A captura em peso (kg) dos adultos foi estimada a partir da amostragem das lagostas (*P. argus*). O peso total mensal da amostragem foi estimado a partir da multiplicação da captura em número de indivíduos pelo peso médio. O peso médio para Fêmeas (1), Machos (2) e Ambos (3) foi estimado utilizando as seguintes equações (CRUZ *et al.*, 2014):

$$Wt = 0,119CC^{2.463} \quad N = 532, R^2 = 0,9477, 68,6 \geq CC \leq 134,8 \quad (1)$$

$$Wt = 0,0433CC^{2.141} \quad N = 590, R^2 = 0,9197, 71,2 \geq CC \leq 141,9 \quad (2)$$

$$Wt = 0,0013CC^{2.9159} \quad N = 1130, R^2 = 0,9496, 77,6 \geq CC \leq 137,4 \quad (3)$$

Onde CC = comprimento da carapaça (mm). Wt = peso total (gramas). Os comprimentos médios da carapaça foram estimados com uma frequência mensal a partir das amostragens mensais.

3.3 Amostragem do recrutamento

Recrutamento é definido como o fluxo dos indivíduos jovens ao estoque parental que é controlado por vários processos biológicos em cada indivíduo (alimentação, crescimento, excreção, metabolismo), bem como fenômenos ao nível da população (predação, taxa de morte) que determinam o nível da coorte (NOVAL *et al.*, 1988).

Para identificar os estágios de desenvolvimento ontogenético da lagosta (*P. argus*) foi utilizada a terminologia de Herrnkind *et al.* (1994), Acosta e Butler (1999), Cruz *et al.* (2001), Cruz e Bertelsen (2009) para distinguir as

principais etapas do ciclo de vida da lagosta vermelha (*P. argus*): (a) puerulus (4-6 mm, CC), pelágico, alta transparência, exceto os olhos que são pigmentados, corpo deprimido, pleópodos bem desenvolvidos, carapaça desprovida de espinhos e pouco calcificada; (b) pós-puerulus ou fase algal não gregária (6 -16 milímetros de CC), bentônico pigmentado, recém mudado apresentando duas bandas pretas que percorrem o corpo; (c) gregária juvenil ou fase pós-algal (16-50 mm,CC), diferenciação externa entre os sexos e coloração típica da espécie; (d) pré-recruta (50-79 mm,CC) e (e) adulto (≥ 80 milímetros,CC).

Para investigar o calendário das diferentes fases de recrutamento de *P. argus*, na plataforma continental do Brasil, analisou-se uma coorte de lagosta a partir do momento de desova. Para isso, foi desenvolvido um modelo para prever recrutamento, considerando-se os padrões observados de assentamentos dos puerulus, como índice de juvenis (I_j) e índice de pré-recrutas (I_{PR}). O comprimento da carapaça (CC) de juvenis, pré-recrutas e adultos foi estimada a partir dos parâmetros de crescimento de Ivo (1996), para ambos os sexos, para a seguinte equação (4):

$$CC = CC^{\infty} \times (1 - \exp(-K \times (t - t_0))), \quad (4)$$

Onde t é o tempo máximo de recrutamento (meses) convertido em anos, $K = 0,235$, $CC^{\infty} = 182$ milímetros e $t_0 = 0$. Por exemplo: se o pico de recrutamento juvenil é aos 11 meses (0,92 anos) após o pico de desova (Março), a média da carapaça dos jovens é de 35 mm (CC).

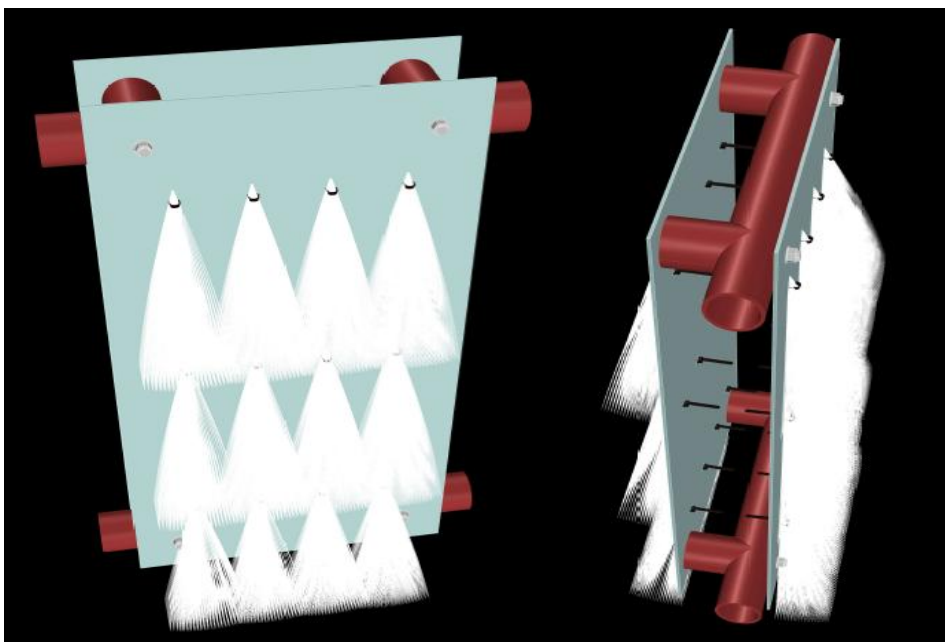
3.3.1 Assentamento dos puerulus

Foi realizada uma amostra mensal ao longo de 12 meses (2015-2016) para coleta de puerulus. O estudo foi desenvolvido na praia de Flecheiras, município de Trairi, no estado do Ceará (3°14.5'S e 39°13.5'W). Empregou-se a técnica de amostragem sugerida por Cruz *et al.* (2006; 2011) para estimar os níveis de assentamento dos puerulus da lagosta vermelha (*P. argus*) e outros organismos associados, envolvendo a utilização de coletores artificiais.

O coletor (Tipo I) proposto consiste de duas pranchas de fibra de vidro (espessura entre 0.4 e 0.5 cm) de 60 por 30 cm (área 0,18 m² por cada lado). Sustentado por quatro parafusos com suas porcas e arruelas. Apresenta uma

superfície externa recoberta de tufo de fibra sintética de polietileno não elaborada (CRUZ *et al.* 2011). Várias dessas unidades foram distribuídas em linha ao longo de um cabo mestre, cobrindo uma área total de 50m² (Figuras 4 e 5). O aparato foi fixado a aproximadamente 500m da costa a uma profundidade média de 5m. Os resultados foram comparados com os obtidos por Cruz *et al.* 2005 e 2006, na mesma zona.

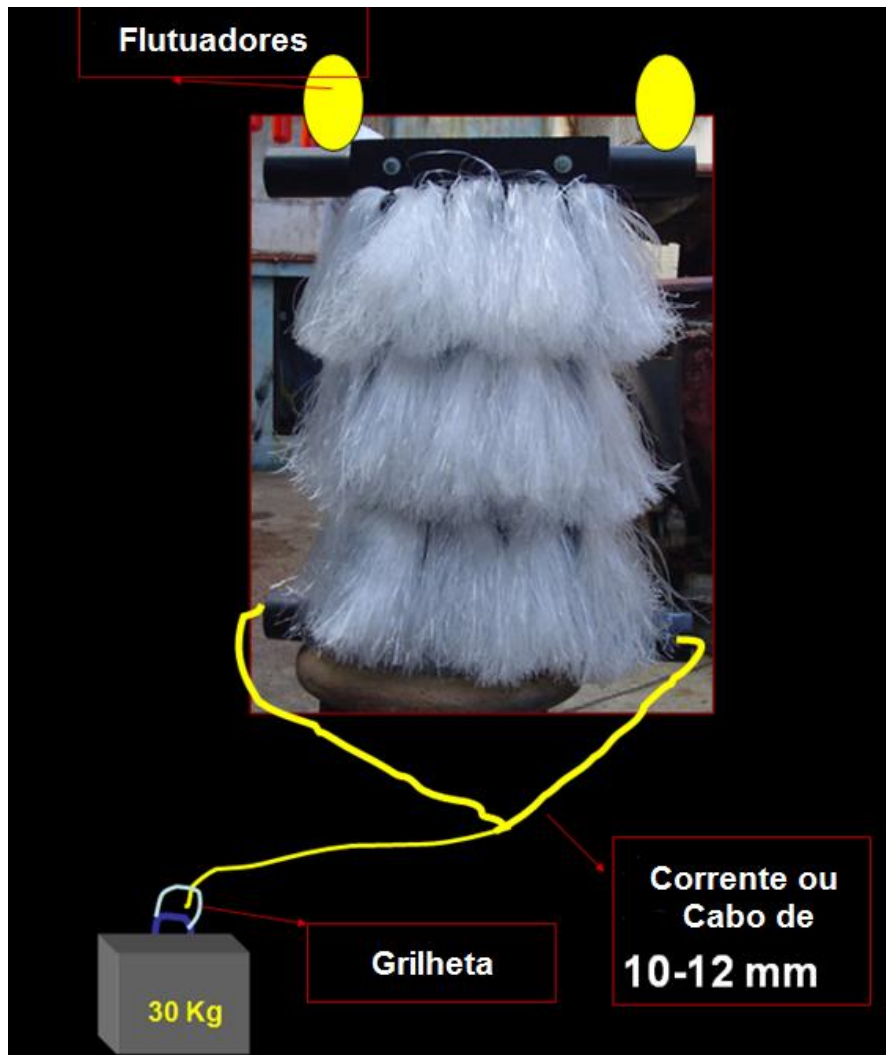
Figura 4 - Esboço proposto do aparato de captura de puerulus.



Fonte:

Elaborada pelo autor, modificado de Cruz *et al.*, 2001.

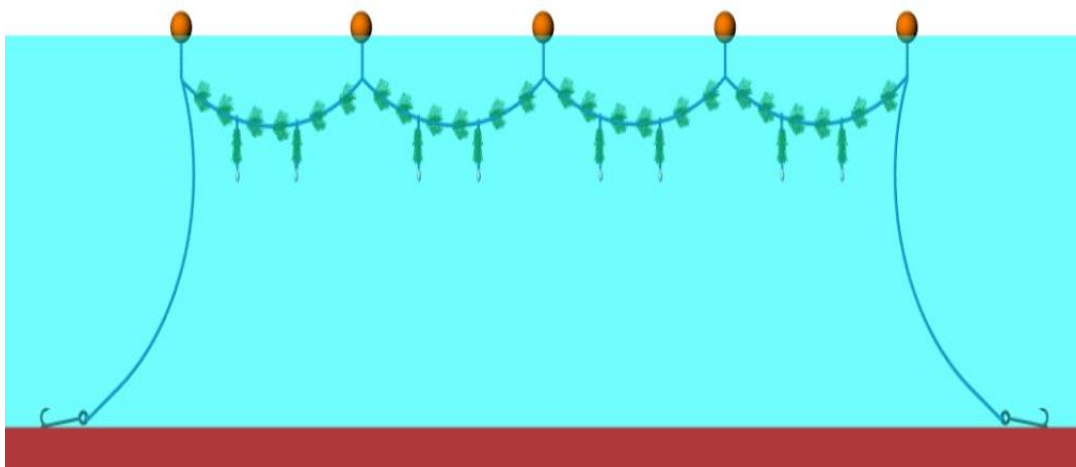
Figura 5 - Sistema utilizado para a ancoragem do coletor de puerulus.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O coletor (Tipo II) foi construído com um cabo de polietileno de 10 mm e um comprimento de 10 m, no qual se pendurou os tufo de algas vermelhas *Gracilaria sp.* (Figura 6). O coletor (artificial-natural) foi colocado na superfície do mar, fixado aos extremos com duas bóias. Teve um sistema de ancoragem constituído por duas âncoras nos extremos do cabo. A frequência de amostragem e metodologia foi igual ao coletor tipo I.

Figura 6. Esboço proposto do coletor de puerulus (Tipo II) de algas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os indivíduos foram coletados e contabilizados uma vez ao mês durante a fase de lua nova. O índice de assentamento mensal foi calculado a partir do número de puerulus e pós-puteruli do mês anterior, e baseado na captura média por coletor, por mês e por estação. Os detalhes da metodologia foram descritos por Cruz (2002) e Cruz *et al.* (2006).

Foi realizada uma análise do Fator de Eficiência (FE) econômica de ambos coletores (tipo I e II) através da equação (5):

$$FE = (\text{No de indivíduos} / \text{custo total do coletor}) * 100 (\%) \quad (5)$$

Onde FE é um indicador aplicável da eficiência porcentual da colheita de indivíduos. O fator de eficiência pode tomar valores entre 0 e 1. Por exemplo, estar mais perto de 1 (um) significa que a eficiência do coletor na captura de puerulus é elevada.

Além disso, calculou-se o Custo Total por indivíduo capturado, expresso pela seguinte equação (6):

$$CT_p = TC (R\$) / \text{No puerulus} \quad (6)$$

Onde CT_p = custo total por indivíduo (puerulus), $TC (R\$)$ = custo total em reais e No puerulus = número de puerulus capturados. A taxa de câmbio de R\$ em relação ao dólar foi de 3,52 em abril de 2016 (taxas de cambio do Banco do Brasil).

3.3.2 Abundância dos juvenis e pré-recrutas

O comprimento médio da carapaça de juvenis e pré-recrutas foi calculado por sexo, período e mês. Os dados sobre o tamanho médio foram analisados, utilizando um ANOVA simples. A variável-dependente foi tamanho médio (mm) e as fontes de variação foram os meses. Esta análise foi realizada por sexo e ano separadamente. A homogeneidade das variâncias dos dados foi realizada testando a independência entre média e a variância, testada antes da análise estatística. Após a análise de variância, foi utilizado o teste de SNK (Student–Newman–Keuls) para avaliar diferenças entre os meios.

Para analisar a dispersão em termos relativos a seu valor médio, utilizou-se o coeficiente de variação (CV) de Pearson. O CV é dado pela fórmula (7):

$$CV = s \text{ (desvio padrão)} / x \text{ (média)} \quad (7)$$

Onde CV é dado em %, por isso a fórmula é multiplicada por 100. Quanto menor for o seu valor, mais homogêneos serão os dados.

O índice de abundância juvenil (recrutamento juvenil) foi baseado em dados de monitoramento mensal de atratores artificiais (marambais), na área de crescimento de Acaraú. O índice de abundância juvenil mensal anual foi calculado como o número médio de juvenis capturados por mês entre 2014 e 2015. Na área de crescimento, a abundância de juvenis (16-50 mm de CC) foi frequentemente proporcional ao número de pré-recrutas (50-79 mm de CC). A metodologia de amostragem foi descrita em detalhes por Cruz (2002).

Para efeitos do estudo, a abundância média mensal dos juvenis é considerada um indicador da força da coorte anual recrutado para a área dos berçários (criadouros naturais). O índice de abundância foi calculado como a média do número de juvenis capturados por refúgio, mês e estação, como se segue (8):

$$I_J = N^{\circ} \text{ de juvenis} / \text{Área dos refúgios artificiais} \quad (8)$$

Onde: I_J = índice dos juvenis

Outro índice que mede a força da coorte é o número de pré-recrutas (PR), na área de amostragem. O índice de abundância foi calculado como a média do número de pré-recrutas capturados pela área onde estão localizados os refúgios ou armadilhas, por mês e estação, como se segue em (9):

$$I_{PR} = N^{\circ} \text{ de pré-recrutas} / \text{Área dos refúgios artificiais} \quad (9)$$

Onde: I_{PR} = índice de pré-recrutas

Para testar as possíveis conexões entre as fases de recrutamento, realizou-se a análise de correlação cruzada (DIGGLE, 1990). Primeiramente, transformaram-se os índices de juvenis (I_J) e pré-recrutas (I_{PR}) através de uma função logarítmica (\ln) antes da análise para satisfazer a exigência de continuidade da variável, na condição de normalidade. Diggle (1990) sugere a fórmula (10):

$$2 / \sqrt{n} \quad (10)$$

Onde n é o número total de meses, para avaliar a significância de 95% da função de correlação cruzada, se o valor calculado excede a equação.

3.4 Amostragem e abundância dos adultos

Na região de Acaraú, as amostragens das lagostas foram realizadas a bordo dos barcos de pesca comercial, com uma frequência mensal para o período de 2014 e 2015. Na região do Pará e Amapá, foram também conduzidos levantamentos de campo mensais, com amostragens de lagostas aleatoriamente, nas embarcações que pescam no setor profundo (50-100m) com redes, no período de 2001, 2003, 2013 e 2014. A amostragem forneceu dados de alta qualidade relacionados às informações precisas sobre o local das capturas e outros aspectos ecológicos do habitat.

O índice de abundância mensal dos adultos, das espécies *P. argus* e *P. laevicauda*, foi calculado com base no número de adultos capturados (transformados em peso) e a área (km^2) onde estão localizadas as armadilhas, utilizando a seguinte equação (11):

$$I_A = \text{Kg} / \text{Área} (\text{km}^2) \quad (11)$$

Onde: I_A = índice de abundância dos adultos.

3.5 Índices de potencial reprodutivo

O índice de potencial reprodutivo (IPR) foi definido como o número total de ovos produzidos pelo estoque de fêmeas por unidade de área e unidade de tempo (KANCIRUK; HERRNKIND, 1976). Chubb (1994) e Cruz *et al.* (2007) aplicaram esse modelo a populações de *Panulirus cygnus* George, 1962 (Oeste da Austrália) e *P. argus* (Caribe colombiano), respectivamente. O IPR de uma determinada classe de comprimento expressa a abundância de fêmeas em estado reprodutivo. Para a finalidade deste estudo, uma fêmea em estado reprodutivo é uma fêmea que carregue ovos e/ou massa de espermatozóides. O IPR foi calculado com a seguinte equação (12):

$$\text{IPR} = (N_i \times C_i) \times F_i \times A_i \quad (12)$$

Onde N_i é o número de fêmeas em uma classe de comprimento em estado reprodutivo por kg pescado, baseado em dados de pesca de barcos comerciais na região i ; C_i é a razão do número de lagostas fêmeas em uma dada classe de tamanho por dia de pesca; F_i é a fecundidade média por classe de tamanho determinada usando a equação de Cruz e Bertelsen (2009) (número de ovos = $2,668 \times CC^{2,709}$); e A_i é a área de desova (km^2) da espécie *P. argus*. A magnitude relativa da produção de ovos da região foi expressa como IPR anual total (soma de todas as classes de tamanho). As áreas de desova foram calculadas entre 30-40 m e entre 50-100 m, calculada por Cruz *et al.*, (2014).

3.6 Índice de eficiência reprodutiva das classes de tamanho de fêmeas

Para avaliar o quanto cada classe de tamanho de fêmea contribuiu ao número total de ovos produzidos, criou-se o índice de eficiência reprodutiva (IER). O IER de uma dada classe de tamanho foi definido como a porcentagem estimada do IPR daquela classe de tamanho dividida pela porcentagem da classe de tamanho. A seguinte equação (13) foi usada:

$$\text{IER} = \text{IPR} (\%) / \text{classe de tamanho de fêmea} (\%) \quad (13)$$

Por exemplo, as fêmeas na classe de 80 a 89 mm (CC) representaram 15% de todas as fêmeas amostradas, mas foram responsáveis por apenas 5% da produção estimada de ovos (IPR) de todas as fêmeas reprodutivas. Assim, neste caso, o IER foi 0,33 (5% / 15%).

3.7 Características da descarga do rio Amazonas

A região da descarga é um local de transformação biogeoquímica intensa (MCKEE *et al.*, 2004) e complexidade ecológica (HICKEY *et al.*, 2010). A descarga do rio Amazonas é o evento ambiental de grande impacto a escala regional, continental e global (DAGG *et al.*, 2004) (Figura 7). Na referida região, Salisbury *et al.* (2011) relataram uma correspondência temporal e espacial da descarga do Amazona com a salinidade e a cor do oceano, nas águas da superfície. Furry (2014) reporta que o rio Amazonas, transfere à pluma nutrientes e organismos no oceano que cria um *hotspot* (ponto quente) de atividade microbiana, afetando muitos processos globais, incluindo o armazenamento de carvão atmosférico.

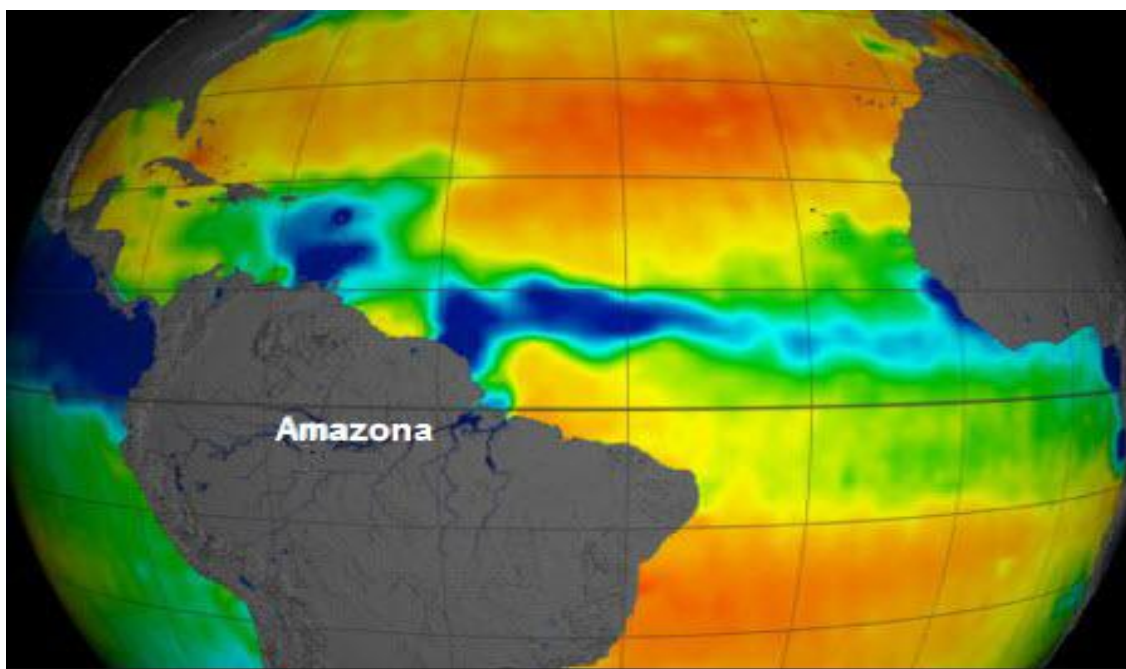
Analisou-se, a partir de sua caudal, a importância da descarga de outros rios da região Norte (Tapajós e Tocantins) e Nordeste (Gurupi, Parnaíba e Acaraú), conjuntamente com o rio Amazonas, bem como sua relação com o recrutamento entre 2014 e 2015.

A relação das descargas dos rios com a abundância dos recrutas foi avaliada através da análise de correlação cruzada, a partir da fórmula de Diggle (1990) (14):

$$2 / \sqrt{n} \quad (14)$$

Onde n é o número total de meses para avaliar a significância do coeficiente de correlação, significativo quando o valor calculado excede ao da fórmula.

Figura 7 – Imagem de satélite da NASA (2011) mostrando a descarga do Rio Amazonas e Orinoco.



Fonte: NASA (<http://news.uga.edu/releases/article/uga-study-presents-details-of-amazon-river-plume/>). Legenda: cor laranja indica uma elevada salinidade e o azul, menor salinidade. Nota: salinidade superficial em 2011, medido pelo satélite da NASA Aquarius. O fluxo da pluma de extensão azul saindo do Brasil em direção à África (Crédito: NASA)

A descarga do rio Amazonas foi obtida da base de dados <http://thredds.jpl.nasa.gov/las/getUI.do>. Valores do mês de descarga, entre 1970 e 2015, foram calculados a partir de médias mensais na estação de Óbidos ($1^{\circ}54'S$, $55^{\circ}30'W$) que é o mais próximo à desembocadura do rio Amazonas (aproximadamente 750 km) e que segundo Perry et. al. (1996) é a estação que proporciona informações fiáveis sobre a magnitude do fluxo de água doce para o oceano (Figura 8).. Além disso, analisou-se a descarga dos principais rios ao longo da região nordeste os quais são mostrados na Figura 8. As descargas dos seguintes rios são: rio Acaraú entre 2005 e 2015 (Estação #35283000), rio Tocantins entre 1978 e 2015 (Estação #29700000), rio Tapajós entre 1968 e 2013 (Estação #17730000), rio Parnaíba entre 1982 e 2007 (Estação #34879500) e rio Gurupi entre 1972 e 2015 (Estação #32620000). Esses dados foram obtidos da base de dados da Agência Nacional de Águas

(ANA) do site na Internet:
<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redeh>.

Para cada estação calculou-se a média mensal, considerando-se as bases de dados anuais para cada rio, com o objetivo de analisar os padrões sazonais comparativamente. Foi calculada a descarga média (m³/seg) por rio para os períodos analisados para determinar sua contribuição à região costeira em relação ao rio Amazonas.

Ressalta-se que a Bacia Amazônica tem uma área de drenagem de 3.900.000 10⁹/ km² com uma precipitação de 2.460 mm/ano e uma evaporação média anual de 1.250 mm/ano (Estação de Óbidos - PA). Outras estações com uma menor descarga são Tapajós, Tocantins, Gurupi. De outras bacias, temos os rios Parnaíba (PI) e Acaraú (CE). (Figura 8).

Figura 8 – Distribuição dos rios da Bacia Amazônica na área do território brasileiro: Estação de Óbidos, Tapajós, Tocantins, Gurupi e de outras bacias os rios Parnaíba (PI) e Acaraú (CE).



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em:
<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em 15 de abril de 2016.

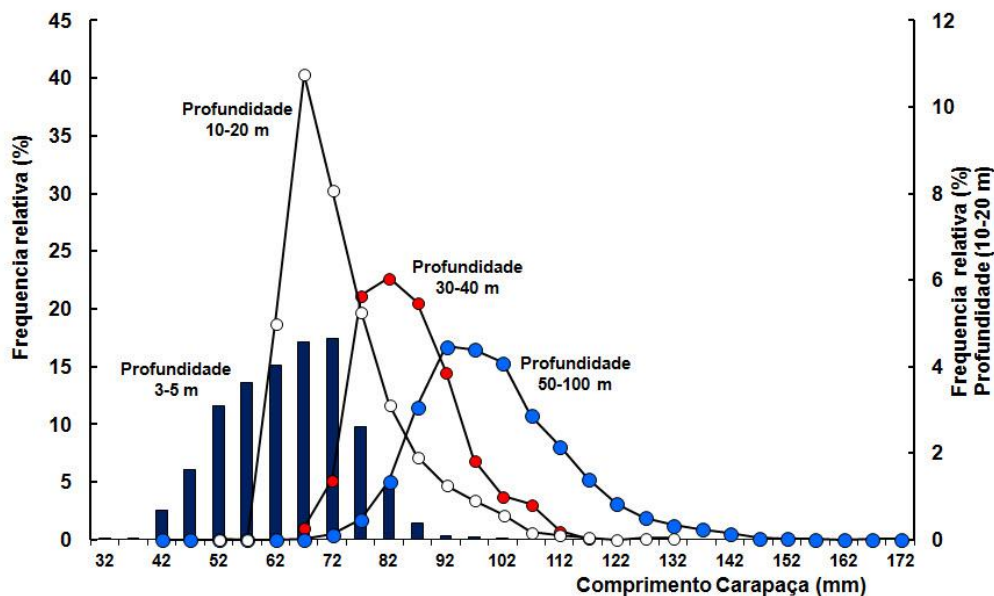
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1 Características gerais da população amostrada

Na área de estudo de Acaraú, foram coletados 5.320 indivíduos (*P. argus*), medindo entre 30 e 119 mm de CC (2014-2015). A uma profundidade entre 3 e 5m foram 4.452 lagostas (2014-2015) com um comprimento médio (média \pm limite de confiança 95%) de $63,85 \pm 0,324$ mm (CC) e juvenis com 48,23 mm (CC). Em profundidades de 10 a 20 m, 353 indivíduos de *P. argus*, medindo entre 47 e 92 mm (CC), com um valor médio de $72,74 \pm 0,695$ mm (CC). Entre 3 e 20m não foram observados exemplares da lagosta verde (*P. laevicuada*). Na profundidade entre 30 e 40m, 868 indivíduos medindo entre 60 e 117 mm (CC), com um valor médio de $85,61 \pm 0,5889$ mm (CC). É evidente que suas médias diferem significativamente para um nível de confiança de 95%.

Na região do estado do Pará, foram amostrados 8.490 indivíduos medindo entre 47 e 174 mm (CC) com um valor médio de $100,55 \pm 0,2855$ mm (CC). De acordo com as variações de profundidade, as médias foram significativamente diferentes, para um nível de confiança de 95%. Observou-se um comportamento estratificado das lagostas relacionado ao aumento do comprimento da carapaça e à profundidade do *habitat* da lagosta *P. argus* (Figura 9). Esse comportamento das lagostas foi reportado na plataforma cubana (Cruz e Phillips, 2000) e na barreira coralina da Providência-Santa Catalina, Colômbia (Cruz et al., 2007).

Figura 9- Relação entre a distribuição do comprimento da carapaça e a profundidade média de coleta da lagosta vermelha (*Panulirus argus*) na plataforma continental da região de Acaraú em profundidades entre 3 e 40 m. Período: 2013-2015.



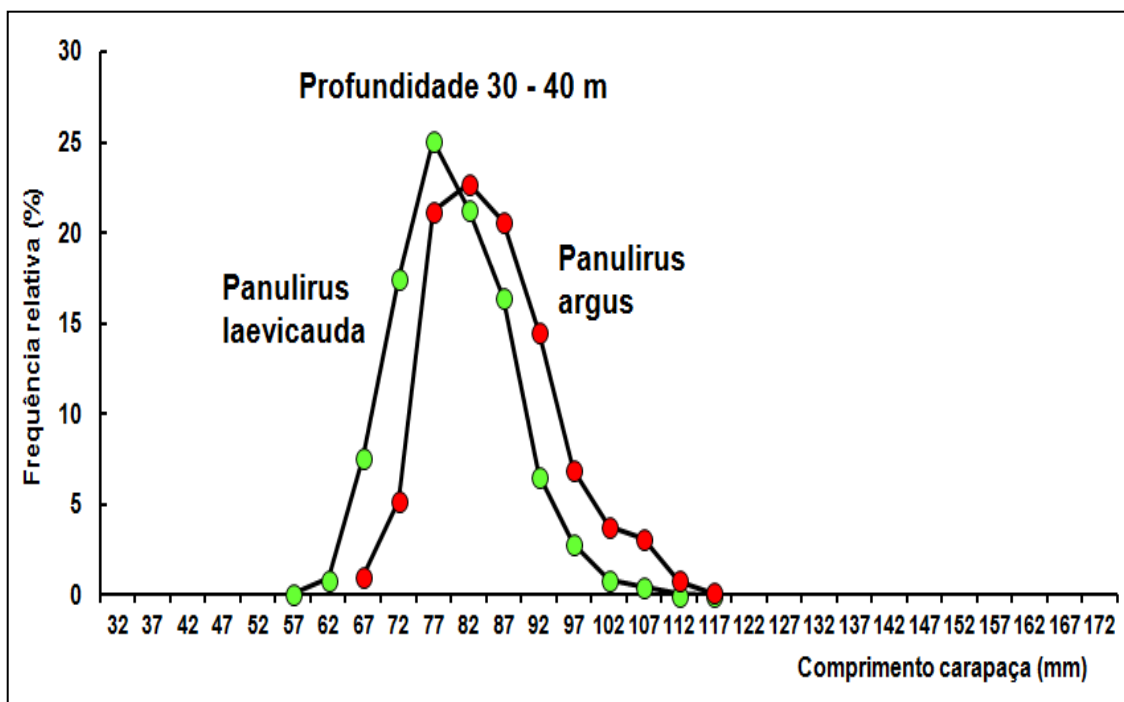
Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

Cruz *et al.* (2011) reportam que os indivíduos se comportam de modo diferente entre os sexos. Do mesmo modo, observa-se que as fêmeas em estado reprodutivo tendem a ter um tamanho superior às fêmeas imaturas e, na medida em que a profundidade aumenta, esta medida torna-se igual ou superior a dos machos. Em águas profundas (50-100 m) habitam exemplares com um tamanho máximo de 174 mm de CC para machos e 173 mm de CC para fêmeas, com um elevado potencial reprodutivo que é proporcional ao comprimento da carapaça (CRUZ *et al.*, 2014). Os dados da costa Norte do Brasil (50-100 m) correspondem as informações modificadas de Silva *et al.* (2008) e Cruz *et al.* (2014).

Embora o objetivo desta pesquisa seja avaliar a dinâmica das populações da lagosta vermelha (*P. argus*), no *habitat* entre 30 e 40 m, encontraram-se apenas nessa profundidade a residência de duas populações simpátricas, *P. laevicauda* e *P. argus* que representaram 76% e 24% das coletas respectivamente (Figura 10). Os comprimentos médios da carapaça para os estoques foram de 80,16 mm (N= 1429) para a lagosta verde e 85,61

mm (N= 868) para lagosta vermelha. A variação média anual para o período analisado (2014-2015) entre as duas populações não foi significativamente diferente ($t' = 0,0022$), para um nível de confiança de 95%. A distribuição dos tamanhos é muito similar nessas profundidades. A espécie *P. argus* alcança tamanhos maiores, com máximos de 174 mm de CC e 231 mm de CC nos machos e fêmeas, respectivamente (SILVA *et al.*, 2003 e 2008). Para a espécie *P. laevicauda* os tamanhos máximos são de 108 mm de CC em machos e 112 em fêmeas. Não obstante, as populações de *P. laevicauda* não têm sido estudadas, apesar de sua importância no ecossistema bentônico e por ser a espécie brasileira de maior abundância no Atlântico.

Figura 10 - Relação entre a distribuição do comprimento da carapaça e a profundidade, de lagostas vermelha (*Panulirus argus*) e verde (*Panulirus laevicauda*), na plataforma continental da região de Acaraú (2°46'S e 40°05'W), a uma profundidade entre 30 e 40 m. Período: junho-outubro 2014.

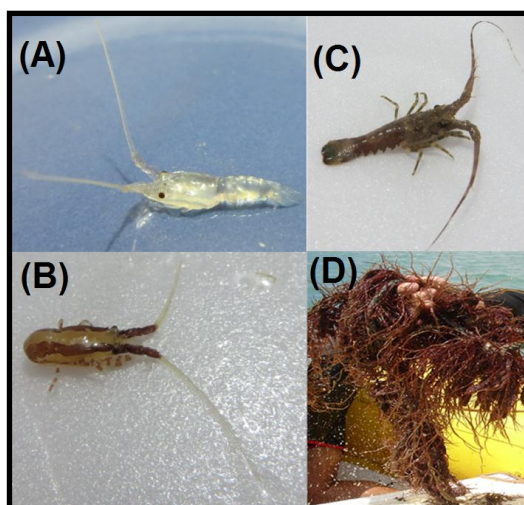


Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa

4. 2 Assentamento dos puerulus e juvenis

Os juvenis mais velhos, entre 30-50 mm (CC), somente são distribuídos na faixa de profundidade entre 3 e 5 m, o que sugere que os exemplares mais jovens (16-30 mm, CC) devem habitar uma área < 3 m de profundidade, que, nesta pesquisa, considera-se como área dos criadouros naturais da fase juvenil. Isso indica que o assentamento da fase puerulus acontece muito próximo à região costeira, em concentrações de algas marinhas. Na região de Flecheiras, município do Trairi - CE (aproximadamente 100 km de Acaraú), foram coletadas diferentes fases do assentamento da lagosta a uma profundidade de 1m em aparelhos experimentais construídos com a alga vermelha *Gracilaria sp.* (Figura 11). Na região costeira do município de Fortaleza, Igarashi (2010) encontrou 3 (três) puerulus (*P. argus*) em algas *Amansia sp.* e, em menor quantidade, nas algas *Cryptonema sp.* Não foram observados puerulus da espécie *P. laevicauda* de acordo com a classificação de Fausto Filho e Costa (1969).

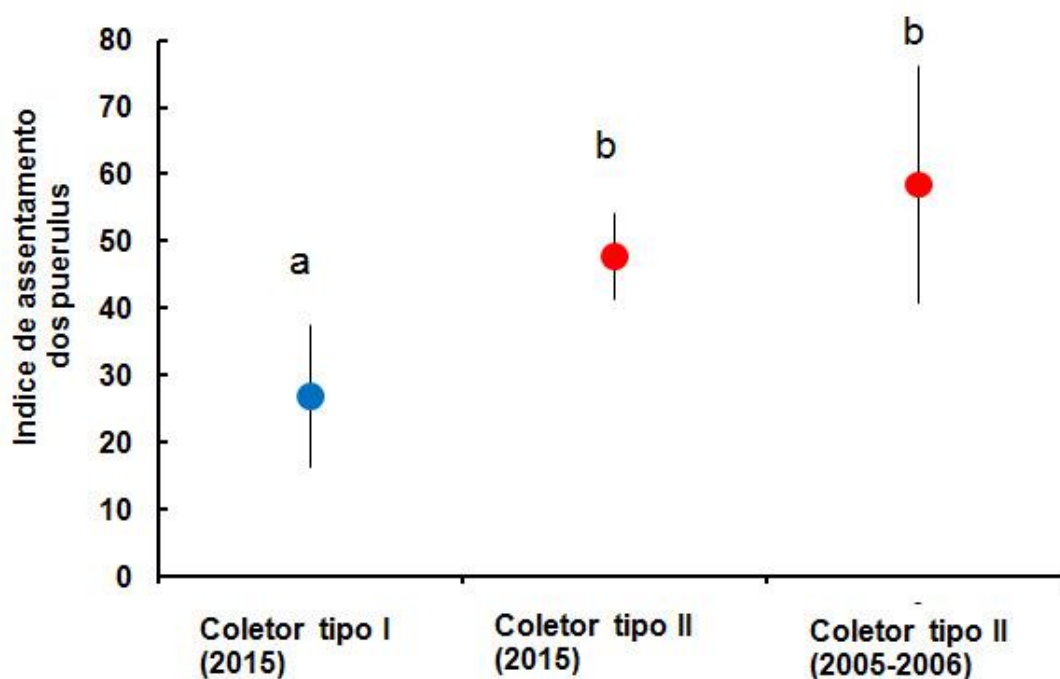
Figura 11 – Lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) capturadas em coletor artificial tipo II (construído com algas vermelhas *Gracilaria sp.*). (A) Puerulus, transparente com olhos pigmentados. (B) Fase algal, apresenta duas bandas escuras que percorrem ambos os lados do corpo, nas patas as bandas são fragmentadas. (C) Fase juvenil, apresenta as cores típicas da espécie. (D) Macroalgas (*Gracilaria sp.*).



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

O índice de assentamento dos puerulus foi examinado a partir dos tipos de coletor (I e II) selecionados para determinar o efeito sobre a captura. Além disso, considerando-se os períodos de 2015 e 2005-2006 para a mesma zona de Flecheiras - CE. Neste caso, uma comparação visual é suficiente para mostrar que o valor médio de assentamento do coletor tipo I difere do coletor tipo II. É evidente que no caso do coletor tipo II suas médias não diferem, para um nível de confiança de 95%, entre os períodos analisados (Figura 12).

Figura 12 – Assentamento médio mensal do puerulus (*Panulirus argus*), com intervalo de confiança para 95% (línea vertical) por tipo de coletor (Tipo I de fibras artificiais e Tipo II de algas) e período do ano. Período Julho- Dezembro 2015 e 2005-2006³.



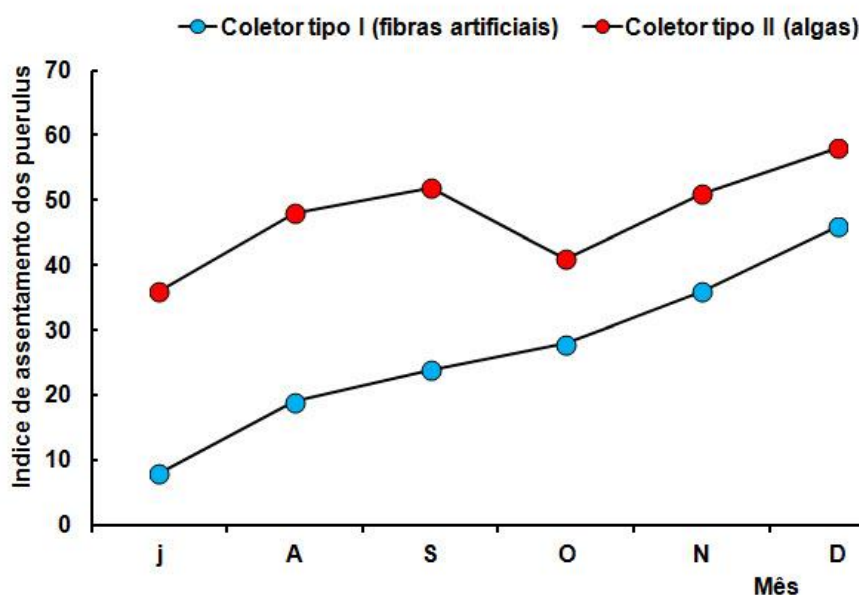
Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

Observa-se, porém, uma relação significativa entre os índices de assentamento ($N= 6$, $R^2 = 0,6512$, $p < 0,05$) obtidos nos coletores tipos I e II, com uma tendência crescente no tempo (Figura 13). Isso demonstra que o

³ Legenda: letras diferentes significam distinções significativas ($P < 0,05$) entre as médias.

assentamento dos puerulus é desenvolvido em substrato muito intrincado, em que há possibilidade de refúgio contra os depredadores. A quantidade de presas e ausência de doenças é suficiente para garantir sua sobrevivência e crescimento individual (CRUZ *et al.*, 2006). Na zona da Florida, Forcucci *et al.* (1994) reportaram que a fase puerulus podem se assentar em substratos muitos complexos sob o ponto de vista físico.

Figura 13. Tendência mensal do índice de assentamento dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) nos coletores tipos I e II. Período segundo semestre de 2015.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

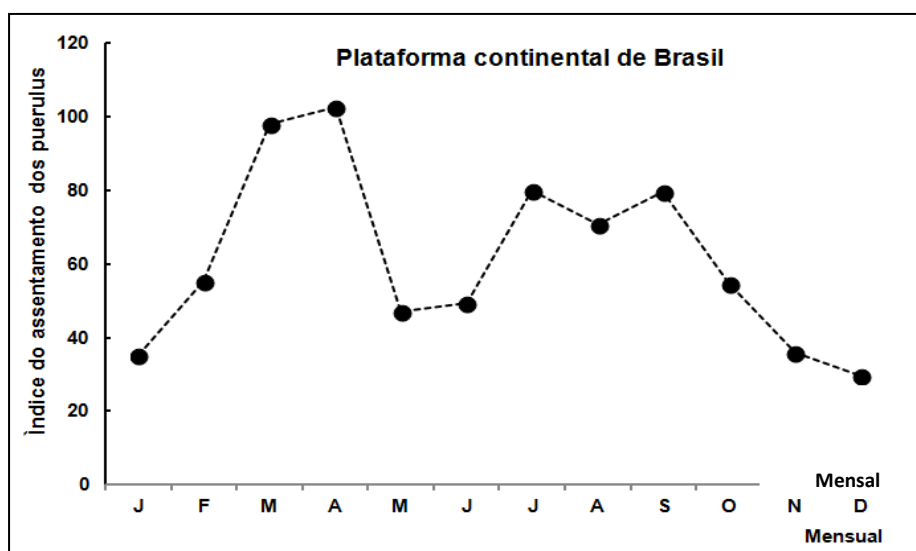
Na região do Caribe, nas primeiras fases do ciclo de vida, as lagostas ocultam-se isoladamente, nos clones da macroalga vermelha *Laurencia intricata* (MARX e HERRNKIND, 1985; HERRNKIND e BUTLER, 1986; LALANA *et al.*, 1989), a que estão associadas 29 espécies, sendo as mais dominantes as rodofíceas: *Jania capillacea*, *Fosliella farinosa*, *Polysiphonia sphaerocarpa* e a cianobacteria *Lyngbia sp.* (BRITO; SUÁREZ, 1994). Adicionalmente, as manchas de algas formam uma cobertura sobre a vegetação submarinha constituída, principalmente, por fanerógamas (*Thalassia testudinum*, *Halodule beaudetii*, *filiforme* e *Halophila Siryngodium engelmanni*). Na fase algal, permanecem isolados e escondidos na vegetação,

possivelmente com presas (alimentos) abundantes (MARX e HERRNKIND, 1985; HERRNKIND *et al.*, 1988) e protegidos dos predadores (HERRNKIND e BUTLER, 1986; SMITH e HERRNKIND, 1992), garantindo a sua sobrevivência.

Na fase isolada (algal), a estimativa de sua densidade em abrigos naturais é bastante difícil. No entanto, no arquipélago cubano um total de 32 post-*puerulus* foram capturados em refúgios artificiais de concreto, onde a densidade média foi de $0.4492 \text{ post-puerulus/m}^2 \pm 0.171$ (média e limite de confiança para 95 %). Esse resultado evidenciou uma relação significativa com a densidade do assentamento, nos clones da alga vermelha ($0.36 \text{ post-puerulus/m}^2$), demonstrando que ambos os índices de densidade complementam um ao outro e estiveram associados aos níveis de recrutamento locais, o que é um método alternativo para estudar as densidades dessa fase em leitos de algas marinhas.

Cruz *et al.* (2015) relataram que a coleta de *puerulus P. argus* em dispositivos flutuantes utilizados para o cultivo de algas entre os anos de 2003 e 2006, próximo à região costeira de Flecheiras, demonstrando que o assentamento dos *puerulus* ocorre durante todo o ano, identificando-se dois picos, entre os meses de março-abril e julho-setembro (Figura 14).

Figura 14 - Padrão do assentamento médio dos *puerulus* da espécie *Panulirus argus* (Latreille, 1804) nas costas do Brasil (2003-2006).



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa, modificado de Cruz *et al.* (2015).

4.3 Análise do fator de eficiência e custos do coletor de puerulus

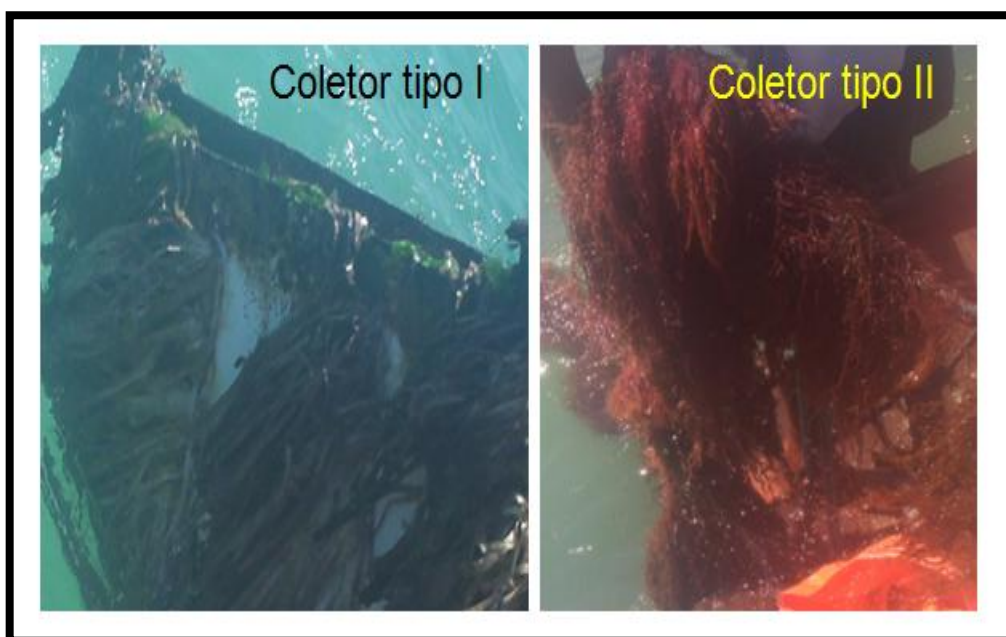
O fator de eficiência estimado (FE), no coletor de algas (Tipo II), é de 92%, um ponto percentual 57% superior ao coletor de fibras artificiais (Tipo I) que possuem um FE estimado de 35%. Observou-se que o coletor Tipo I (Figura 15) foi colonizado por macroalgas (verdes e vermelhas) com uma quantidade apreciável de lama, que cobre o dispositivo, e talvez essas características pudessem limitar a capacidade do refúgio e assentamento da fase puerulus. No coletor Tipo II, construído com algas vermelhas, não foi visualizado o crescimento de outras algas (Figura 15) e o complexo substrato físico tem uma maior área fractal que incrementa a disponibilidade de refúgio, onde se ocultam os puerulus, post-puterulus e uma biodiversidade elevada de outros recrutas (invertebrados, larvas de peixes, algas filamentosas e outros organismos diversos), também reportados Cruz *et al.* (2007), na área do Caribe.

Caddy e Sharp (1988) expressam que os organismos marinhos e peixes de arrecifes ocupam um número limitado de nichos naturais disponíveis, com incremento do comprimento crescente. Esse conceito baseia-se na natureza fractal do substrato. Esses nichos são descritos como uma área cuja superfície aumenta inversamente com a unidade de medida utilizada. O coletor (Tipo II) de algas vermelhas se assemelha a cabelos emaranhados, o que fornece uma maior variedade de nichos ecológicos os quais permitem as lagostas de menor (puerulus) e maior (post-puterulus) tamanho colonizarem os nichos na extensão desejada. No coletor Tipo I, a colonização de uma grande diversidade de algas e lama formam um tumulto que poderia diminuir a superfície fractal, sendo o dispositivo menos eficiente no assentamento e na colheita dos puerulus.

Por outro lado, o custo para capturar um indivíduo foi estimado em R\$3,80 (US\$1,08) e de R\$10,07 (US\$2,86) para o coletor Tipo II e I, respectivamente. Por consequência, o coletor Tipo II é recomendável para realizar uma monitoração em longo ou curto prazo da fase puerulus. Contudo, os custos para capturas de um puerulus, em outras regiões, são menores (CRUZ *et al.*, 2006), variando entre US\$ 1,12 (Austrália) e US\$1,50 (Cuba). O

estudo de outros materiais de mais baixo custo deve ser uma premissa importante em estudos futuros do recrutamento larval.

Figura 15 - Comparação qualitativa do aspecto das fibras artificiais (coletor Tipo I) e naturais (coletor Tipo II) depois de meses de coleta dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804), na região de Flecheiras - CE.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

4.4 Dinâmica do recrutamento dos juvenis e pré-recrutas

Foram coletados juvenis (16-50 mm, CC) entre 30 e 50 mm (CC), sendo os indivíduos menores coletados de 30.2 a 36.6 mm (CC), representando 20% do total coletado. De acordo com Cruz *et al.* (2007), é provável que os CC entre 16 e 29 mm estejam presentes nos refúgios artificiais, porém devido ao seu comportamento são difíceis de visualizar e/ou capturar pelo pesquisador mergulhador. Os pré-recrutas entre 50 e 79 mm (CC) e os adultos entre 80 e 100 mm (CC) representaram 74% e 6% dos exemplares amostrados, respectivamente. Essa composição por tamanho é igual para os anos de 2014 (21% juvenis, 72% pré-recrutas e 7% adultos) e 2015 (19% juvenis, 75% pré-recrutas e 6% adultos).

Cruz *et al.* (2007) reportaram que os sexos poderiam ser distinguidos com um tamanho entre 16 e 20 mm (CC) e a partir desse tamanho acredita-se que as lagostas emergem dos locais de assentamento durante sua fase algal (≤ 16 mm CC) e começam a ter um comportamento gregário. Durante essas primeiras fases do ciclo de vida, os sexos não diferiram significativamente com relação ao tamanho ($df = 1$; $F = 0,3640$, ns; $P = 0,55$). Os comprimentos médios da carapaça (limite de confiança para 95%) por sexo para todo o período analisado foram $65,77 \pm 6,28$ (machos) e $63,96 \pm 6,30$ (fêmeas) os quais visualmente não apresentaram diferenças significativas a um nível de confiança de 95%. Também não foram observadas diferenças significativas, a um nível de confiança de 95%, entre os sexos em cada ano: 2014: $64,35 \pm 4,73$ (machos) e $62,88 \pm 4,72$ (fêmeas) e 2015: $66,15 \pm 3,79$ (machos) e $64,33 \pm 3,91$ (fêmeas), corroborando o entendimento de que nas fases juvenis os sexos não têm um crescimento diferenciado.

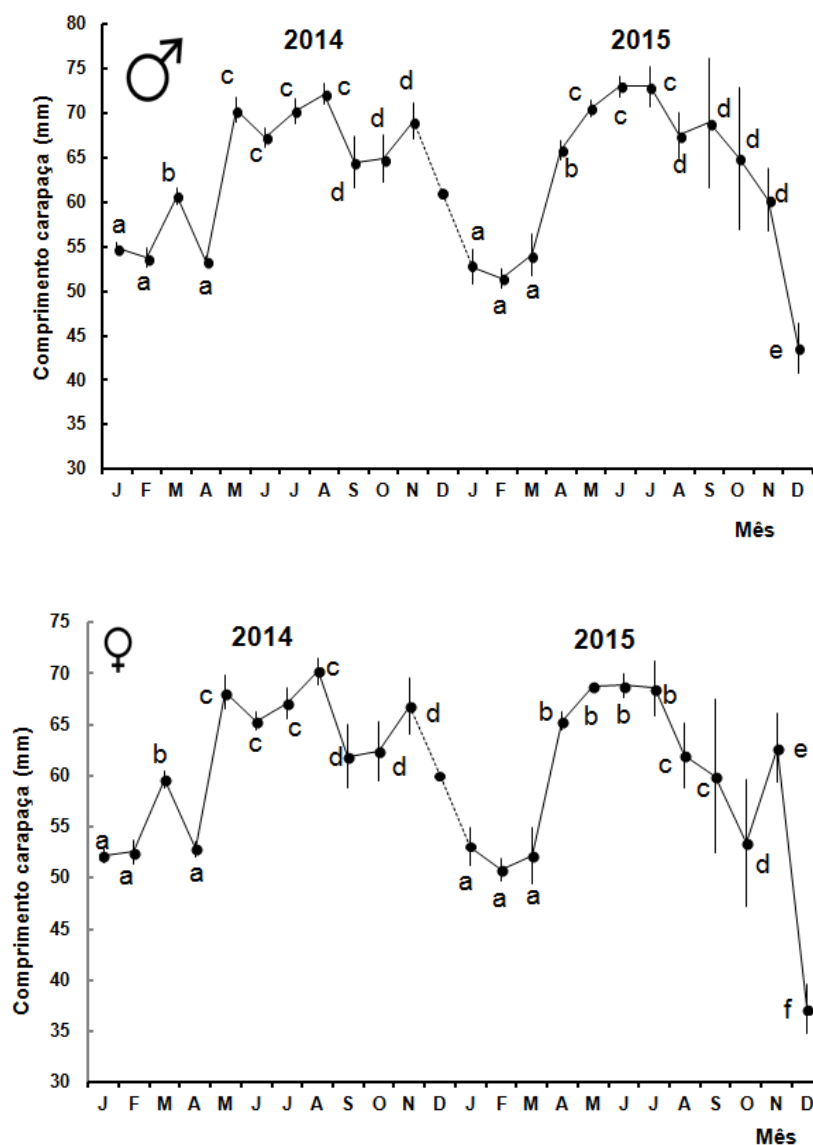
Esses resultados permitem postular que as lagostas (*P. argus*) entre 45 e 50 mm (CC) tornam-se nômades, movendo-se geralmente para longe das áreas dos criadouros naturais para áreas mais profundas, nesse caso entre 3 e 5 m. Posteriormente, se recrutam à área dos adultos com um comprimento médio do CC de 77 mm, com base nos resultados de marcação e recaptura obtidos em Florida Keys (FORCUCCI *et al.*, 1994; BUTLER; HERRNKIND, 1997) e arquipélago cubano (CRUZ *et al.* 1986, 2001). Ressalta-se a consistência dos resultados, considerando-se a inexistência de outras publicações envolvendo trabalho de campo dirigido ao movimento dos juvenis no Brasil.

O CC médio anual (média \pm limite de confiança para o 95 %) dos indivíduos coletados (3-5 m) não variou significativamente ($P < 0,05$) entre os anos de 2014 (média = $63,60 \pm 6,64$ mm, $N = 2.583$) e 2015 (média = $65,42 \pm 5,32$ mm, $N = 1.513$). No entanto, ao se analisar o comportamento médio mensal do CC (Figura 16) observou-se uma variabilidade muito similar entre a composição por tamanhos de machos e fêmeas, nos anos 2014 e 2015.

O comprimento médio da carapaça de juvenis foi calculado por sexo, anos (2014 e 2015) e meses. Os dados sobre o tamanho médio foram analisados utilizando uma ANOVA. A variável dependente foi o tamanho médio (mm) e as fontes de variação foram os anos e o sexo (macho e fêmea). Os resultados indicaram que existem diferenças altamente significativas nas

médias entre os meses em cada sexo (gl = 23; F = 46.48; P < 0.05). O teste de Student Newman–Keuls (SNK) foi utilizado para avaliar as diferenças das médias, as quais estão ilustradas na Figura 16.

Figura 16 - Tamanho médio mensal, com intervalo de confiança para 95% (linha vertical) por sexo da fase juvenil e pré-recruta da lagosta (*Panulirus argus*) na plataforma em frente a Acaraú - CE. Profundidade entre 3 e 5 m. Período mensal em 2014 e 2015.⁴



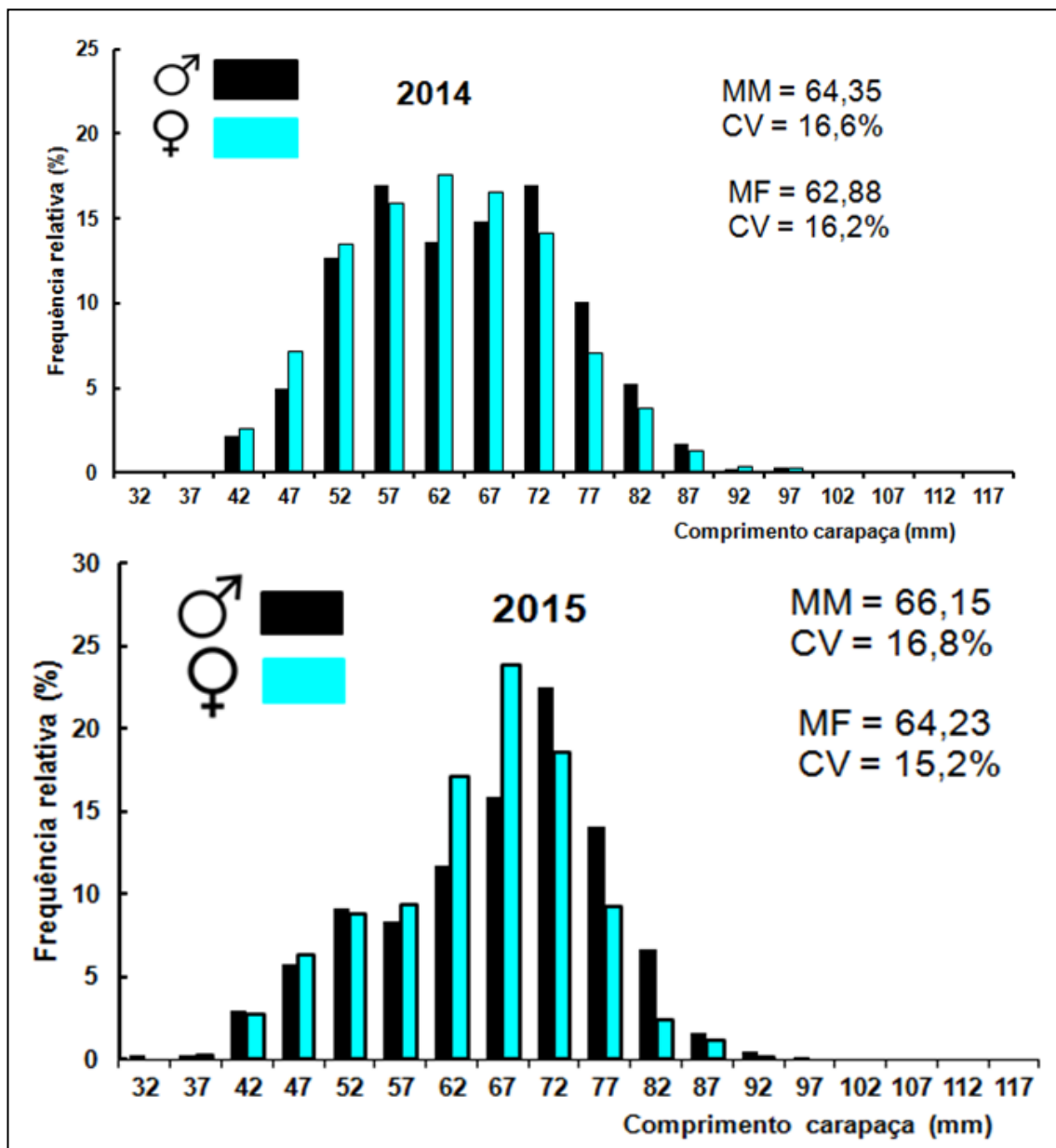
Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

⁴ Legenda: letras diferentes significam diferenças significativas entre as médias para um nível de confiança de 95%.

Ao analisar-se o grau de dispersão do comprimento da carapaça entre anos e sexos, observou-se que os indivíduos, nos anos de 2014 e 2015, apresentaram um coeficiente de variação (CV) menor que 17%. Os dados apresentam baixa dispersão (são homogêneos) e a média foi muito representativa para ambos os sexos. (Figura 17). O baixo coeficiente de variação expressou uma menor dispersão das lagostas imaturas (juvenis e pré-recrutas) em um *habitat* onde os refúgios artificiais concentraram uma elevada biomassa de juvenis residentes e de pré-recrutas que num horizonte próximo se recrutaram à área da população adulta (CRUZ; BERTELSEN, 2009).

De modo geral, embora a variabilidade, no tamanho absoluto das lagostas, aumente com a idade, o coeficiente de variação diminui à medida que as lagostas crescem. As altas densidades dessas fases de lagosta, nas áreas de estudo, seu comportamento gregário e seus hábitos territoriais sugerem que os refúgios artificiais podem ajudar a diminuir a mortalidade natural, aumentando a abundância local das lagostas e incrementando o recrutamento para as áreas de pesca (EGGLESTON *et al.*, 1990).

Figura 17 - Composição por tamanho das lagostas juvenis e pré-recrutas por sexo para os anos de 2014 e 2015, na área de estudo de Acaraú - CE.⁵

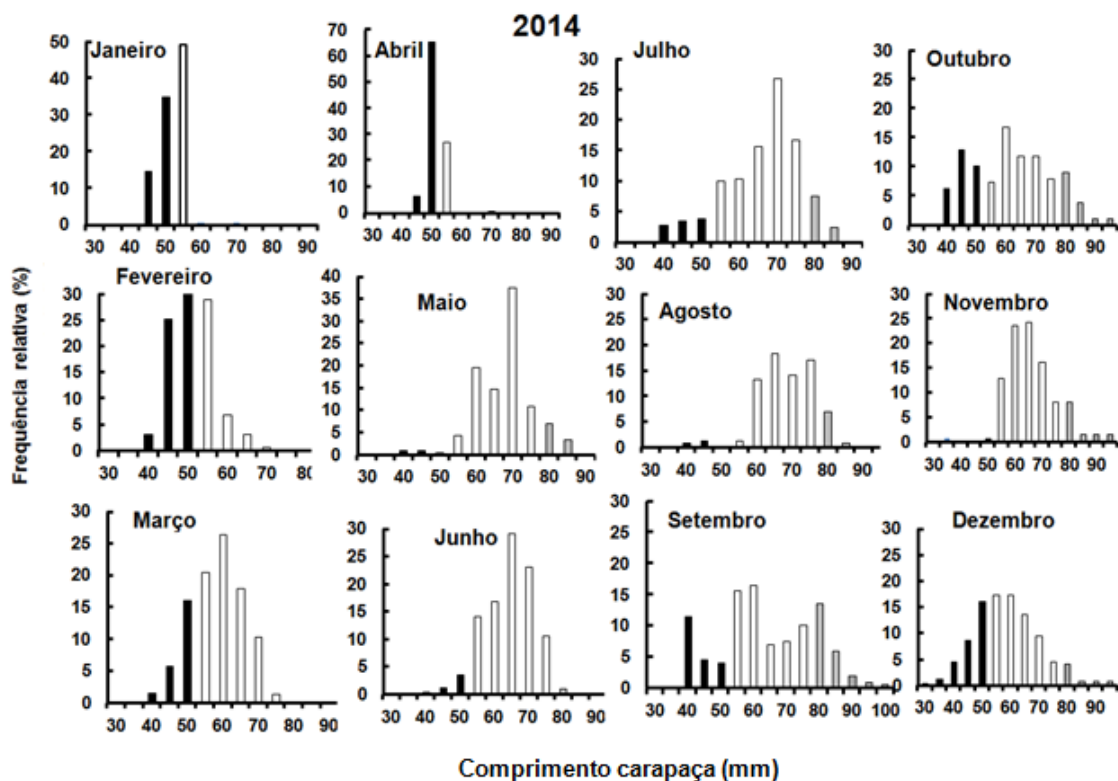


Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa

⁵ Em cada ano, os tamanhos médios dos machos (MM) e fêmeas (MH) expresso em comprimento da carapaça (mm). CV é o coeficiente de variação em porcentagem por sexo.

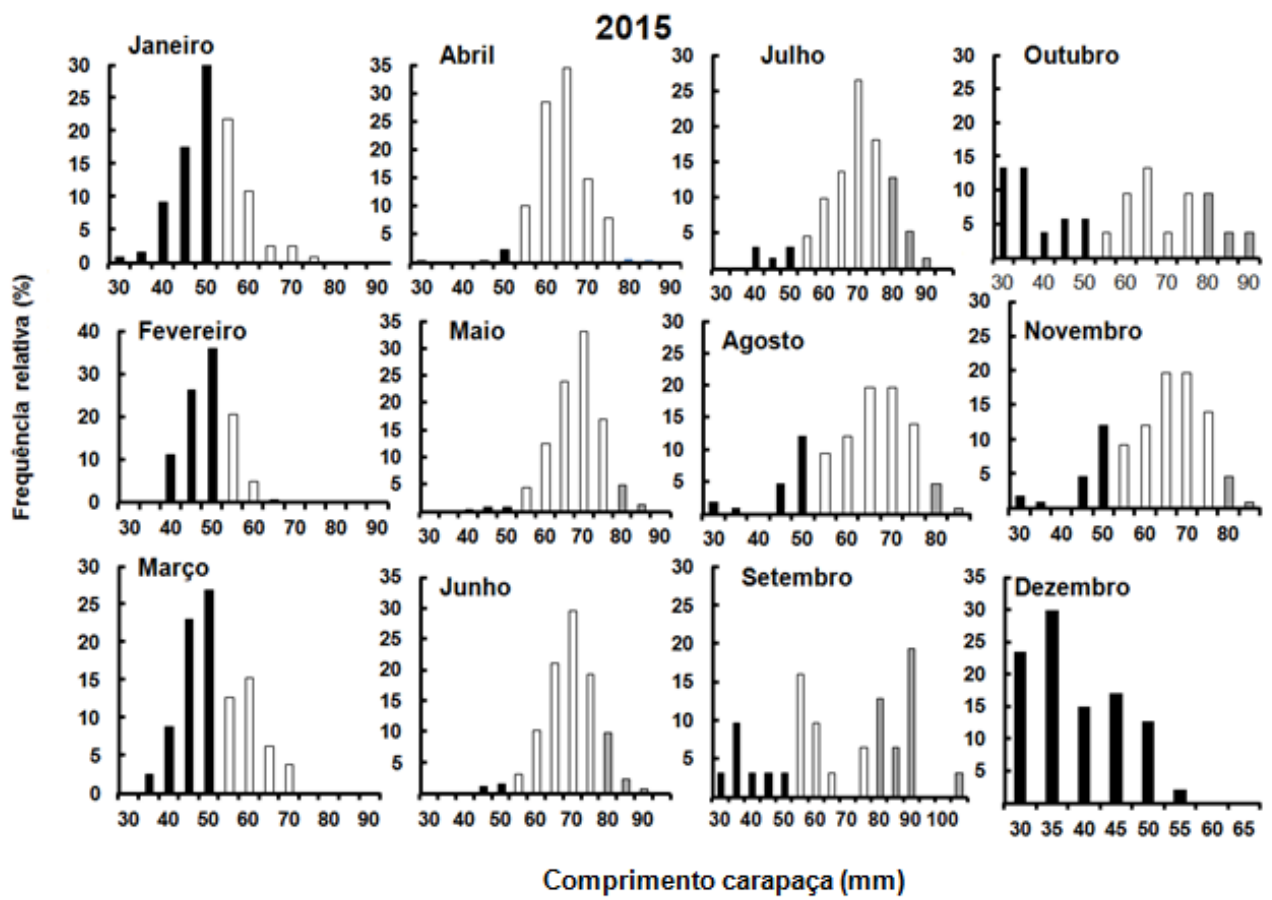
A frequência relativa dos juvenis e pré-recrutas (IPR) apresentou variações de um mês para outro. Essa variabilidade da composição por tamanho foi associada à entrada (recrutamento) dos juvenis nos *habitats* em águas rasas (entre 3-5 m) a partir do mês janeiro, com pico entre os meses de fevereiro e março. A partir do mês de abril, observou-se uma tendência à diminuição, enquanto IPR tendeu a aumentar entre os meses de junho a agosto (Figura 18).

Figura 18 - Composição por tamanho dos juvenis e pré-recrutas de *Panulirus argus*, na plataforma continental de Acaraú - CE (2° 46'S e 40° 05'W). Período: de janeiro a dezembro de 2014 e 2015.⁶



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

⁶ Legenda: barra preta, os juvenis; Barra branca, Pré-recrutas; Barra cinza, adultos.

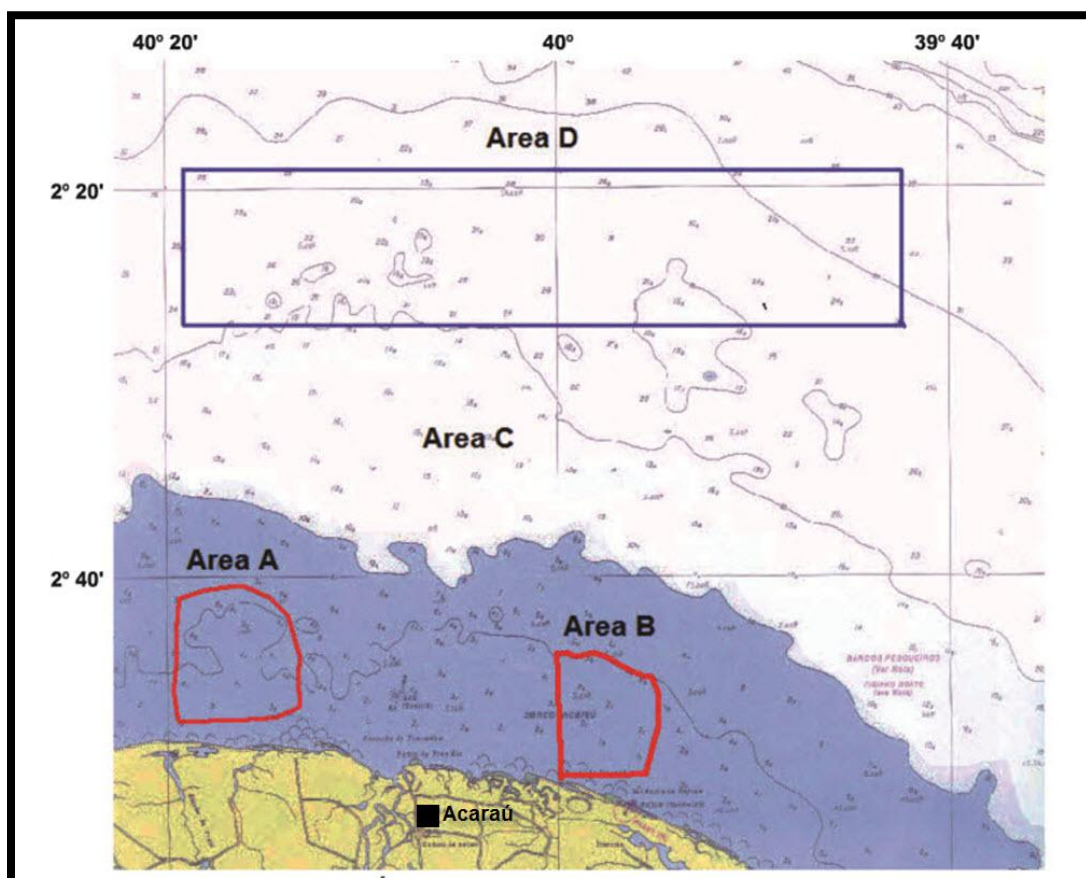


4.5 Distribuição espacial e variabilidade da abundância

4.5.1 Juvenis e pré-recrutas

As áreas de amostragem das lagostas estão representadas na Figura 19. A região onde se encontravam os refúgios artificiais está localizada nas áreas A e B, com profundidade ente 3 e 5 m, que apresentam uma superfície entre 133, 4 km² (área A) e 97,11 km² (área B) para um total de 230,51 km². A área C (10-20 m) não foi delimitada. Na região mais profunda (30-40m), está localizada a área D (1007 km²). Em nenhuma das áreas se obteve o número de refúgios artificiais (3-5 m) ou armadilhas (10-20 m ou 30-40 m) amostradas durante o estudo.

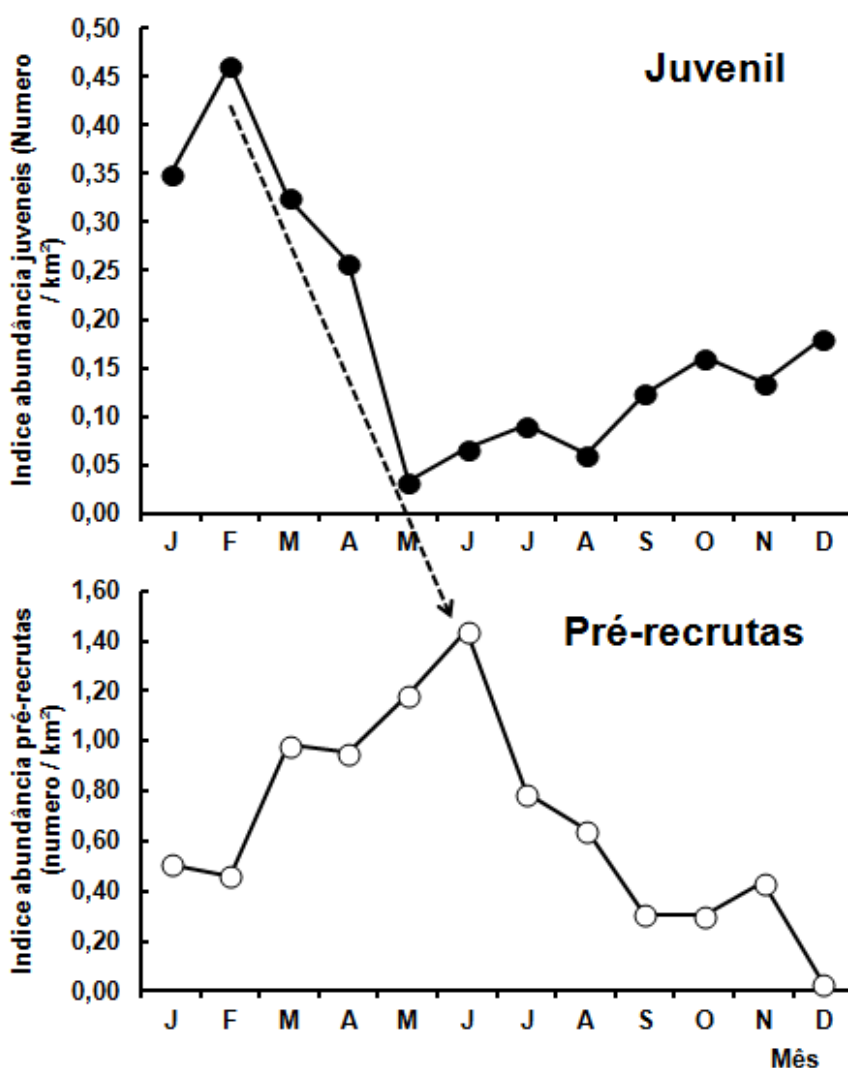
Figura 19 - Mapa da plataforma continental de Acaraú (2° 46'S e 40° 05'W) das localidades selecionadas para a amostragem de lagosta por áreas.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

A análise de correlação cruzada entre o índice de abundância dos juvenis e os pré-recrutas indicou que existe defasagem no que diz respeito ao tempo, nos níveis de abundância dos juvenis. Observa-se uma elevada correlação significativa ($r^2 = 0,8982$, $n = 8$, $P < 0,05$) e uma máxima defasagem de quatro meses entre ambos os índices de abundância. A Figura 20 revela a relação entre os juvenis e os pré-recrutas, indicando que depois dos quatro meses os juvenis são considerados como pré-recrutas.

Figura 20 - Relação entre os índices de abundância dos juvenis e os pré-recrutas. A linha descontínua representa a máxima defasagem (quatro meses) obtida através da correlação cruzada para os 95% de probabilidade.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

De acordo com Herrnkind (1980) e Cruz *et al.* (2001), entre os tamanhos de 45 e 50 mm (CC) o nomadismo é iniciado, o que indica que sua atividade de forrageio (busca de alimento) é muito mais ampla. Conclui-se que ao terminar a fase de juvenis os exemplares começam a ser pré-recrutados para as áreas de *habitat* dos adultos, conforme os resultados das marcações realizadas na Florida e Cuba (CRUZ; BERTELSEN, 2009). Esse comportamento dos juvenis é provavelmente um reflexo da competição intra e interespecífica por alimento e espaço, que induz os exemplares maiores a abandonem progressivamente esse *habitat*.

4.5.2 Adultos

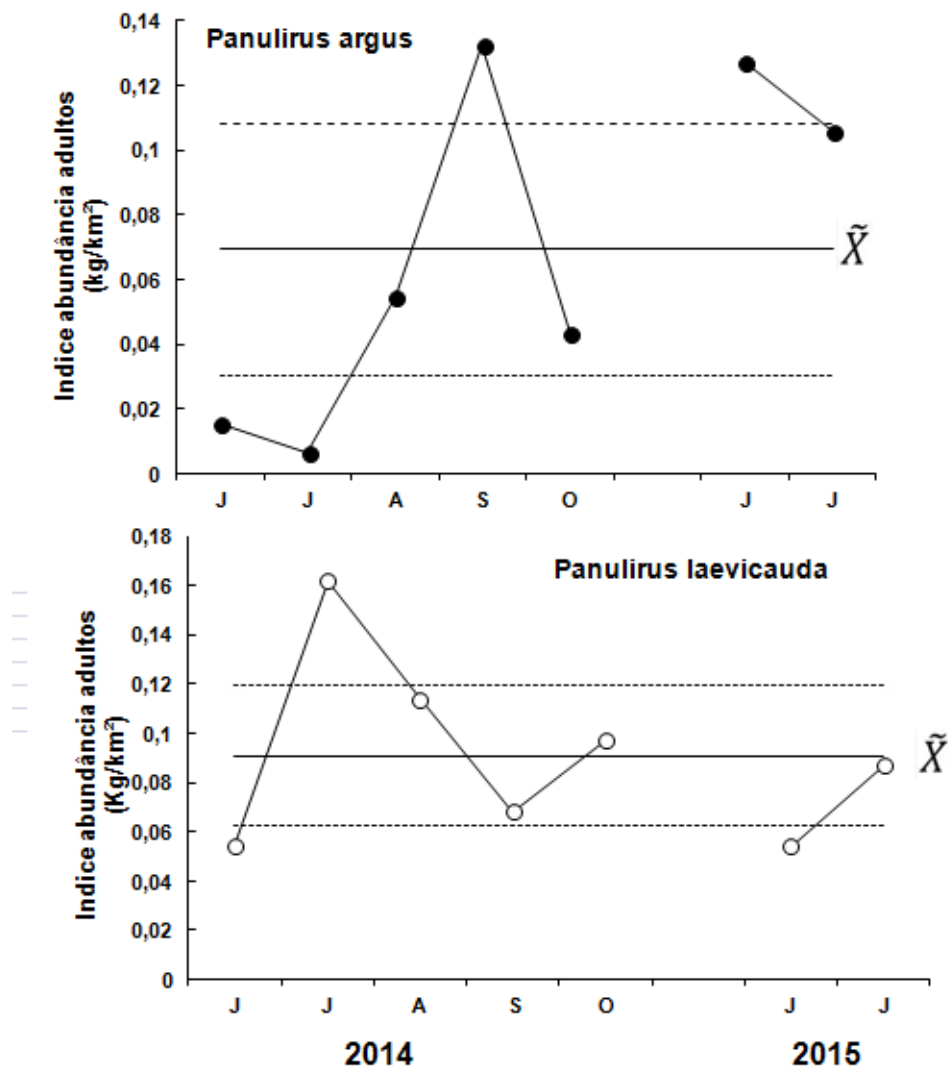
No estrato entre 30 e 40 m, habitam duas espécies simpátricas (*P. argus* e *P. laevicauda*), como abordado anteriormente no item 4.1.

Ao comparar a abundância média (\pm 95% intervalo de confiança) dos adultos de *P. argus* ($0,069 \pm 0,0387$) e *P. laevicauda* ($0,091 \pm 0,0284$), na área funda (30-40 m), não foram constatadas diferenças significativas ($t = 15,63$) entre os dois parâmetros. As abundâncias mostraram uma elevada variabilidade, porém muito diferente entre as duas espécies (Figura 21). Em *P. argus*, os resultados mostraram uma baixa abundância em junho e julho (2014) e um período de máxima em setembro, porém em 2015 os meses de junho e julho foram de uma elevada abundância.

Já em *P. laevicauda* o comportamento do índice de abundância é muito homogêneo, os valores estão compreendidos dentro do intervalo de confiança da média e somente no mês de julho se observa um valor máximo. Por se tratar de uma série temporal muito curta, não é possível apresentar uma explicação plausível para esse comportamento dos adultos, uma vez que as capturas são realizadas em dependência da clemência do tempo e da estratégia de pesca na área.

As causas das diferenças entre e dentro das espécies é desconhecida, mas pode estar associada a mudanças do ecossistema bentônico, variabilidade do recrutamento, tamanho do estoque de desova, bem como à elevada taxa de exploração. Há um total desconhecimento das relações interespecíficas dessas espécies, que devem ser estudadas com um enfoque ecológico profundo.

Figura 21- Índice de abundância mensal dos adultos de *Panulirus argus* (a) e *Panulirus laevicauda* (b) na área D (Figura 15). A linha contínua paralela ao eixo da abscissa representa a abundância média e as linhas descontínuas, o intervalo de confiança para um nível de 95%.

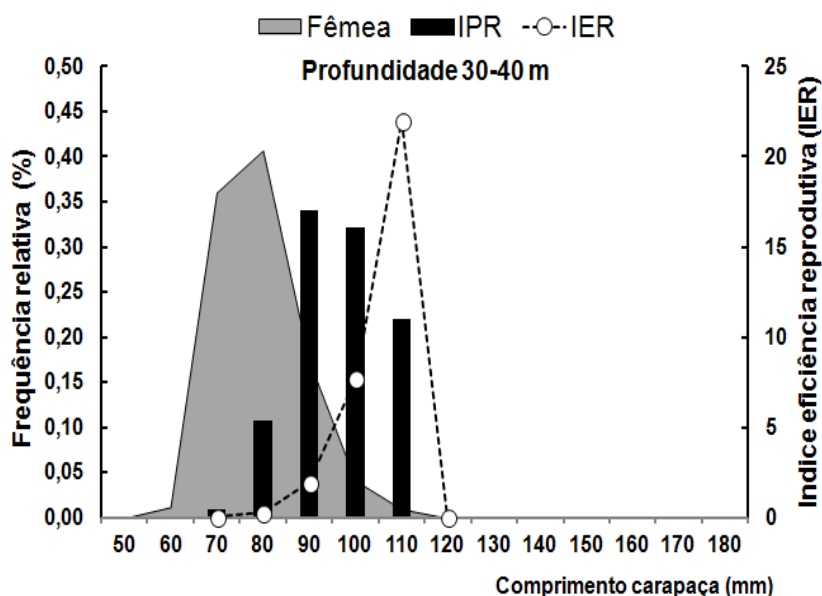


Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

4.6 Índice do potencial reprodutivo (IPR)

Estimou-se o IPR por localidade, profundidade e classe de tamanho de fêmea para plataforma continental do Nordeste do Brasil, na região de Acaraú (Figura 19). No período analisado, a classe de tamanho 80-89 mm (CC) contribuiu somente com 10% na produção de ovos. A classe representou 44% de todas as fêmeas coletadas e apresentou um índice de eficiência reprodutiva (IER) de 0,26. As classes de 90-99 mm (CC) (38% de todas as fêmeas capturadas; IER= 8), responsável por 34% da produção de ovos, e 100-109 mm CC (28% de todas as fêmeas capturadas; IER= 22), responsável por 32% da produção de ovos. No período, a produção de ovos foi maior nas classes 90-99 mm (CC) (34%; IER= 8), 100-109 mm (CC) (32%; IER =8) e 110-119 mm (CC) (22%; IER= 22) representando 38%, 28% e 25%, respectivamente, de todas as fêmeas capturadas (Figura 22).

Figura 22 - Estrutura do tamanho relativo das fêmeas de lagostas *Panulirus argus* coletadas na plataforma continental do Nordeste do Brasil, região de Acaraú - CE. Período 2014-2015.

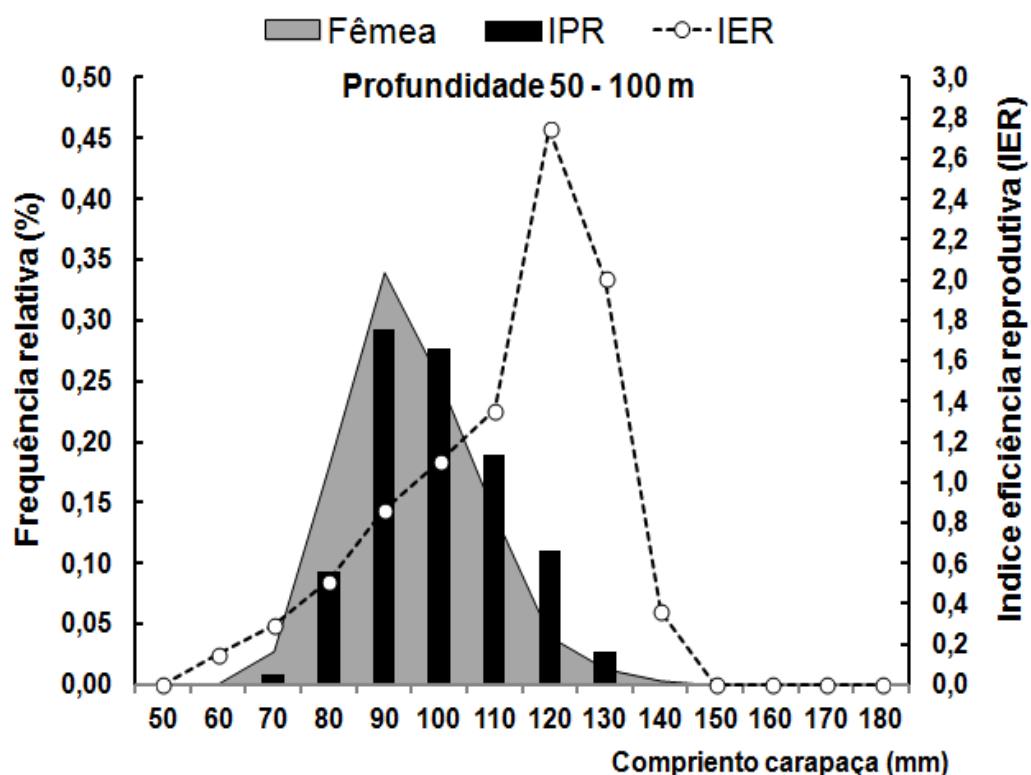


Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

Legenda: IPR = Índice potencial reprodutivo, IRE = Índice eficiência relativa.

As informações de Cruz *et al.* (2015) destacam que, em águas mais profundas (50-100 m), na plataforma continental do Nordeste do Brasil, as classes 90-99 mm (CC), 100-109 mm (CC) e 110-119 mm (CC) estavam associadas ao maior percentual de produção de ovos (76%) e percentual de fêmeas capturadas (73%). O IER foi maior nas classes 120-129 mm (CC) (2,74; 11% produção de ovos) e 130-139 mm (CC) (2,01; 2,7% da produção de ovos); contudo, as fêmeas nessas classes representaram apenas 4% e 1%, respectivamente, de todas as fêmeas capturadas. Na classe 140-149 mm (CC) (0,1% da produção de ovos), as fêmeas representaram 0,4% da captura total de fêmeas e o IER foi de 0,4 (Figura 23).

Figura 23 - Estrutura do tamanho relativo das fêmeas de lagostas *Panulirus argus* (Latreille, 1804) coletadas na plataforma continental do Nordeste do Brasil. Período 2001-2003.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa. Nota: modificado de Cruz *et al.*, 2014.

Legenda : IRP = Índice potencial reprodutivo, IRE = Índice eficiência relativa

Nas duas profundidades, a produção de ovos está centrada nas lagostas de maior tamanho (> 90 mm de CC). Embora as lagostas fêmeas do setor mais profundo (50-100 m) apresentem uma maior contribuição ao total de ovos da população, ao ser mais abundante e significativamente ($P < 0,05$) de maior tamanho (94,86 mm de CC) que as fêmeas da área entre 30-40 m (85,61 mm de CC). Cruz e Bertelsen (2009) relataram uma relação entre o índice da atividade reprodutiva e a distância da borda da plataforma insular de Cuba. Neste estudo, observa-se um padrão similar de *P. argus* no Brasil, também descrito em Bermuda (EVANS *et al.* 1995; SUTCLIFE 1952, 1953) e em Bahamas (KANCIRUK; HERRNKIND, 1976), e Florida Keys (GREGORY *et al.* 1982). Talvez essas áreas, de acordo com Cury e Roy (1989), representem uma "janela otimizada ambiental", onde o sucesso reprodutivo ajuda a garantir o recrutamento larval oceânico.

4.7 Padrões de recrutamento da lagosta *Panulirus argus*

Com base, na coorte de 2005, considerando a época de desova (SOARES; CAVALCANTE, 1984) no outono austral (março, abril e maio) e na primavera austral (setembro, outubro e novembro), foi realizada uma previsão temporal teórica das fases do recrutamento da lagosta *P. argus*, desde phyllosoma até os adultos.

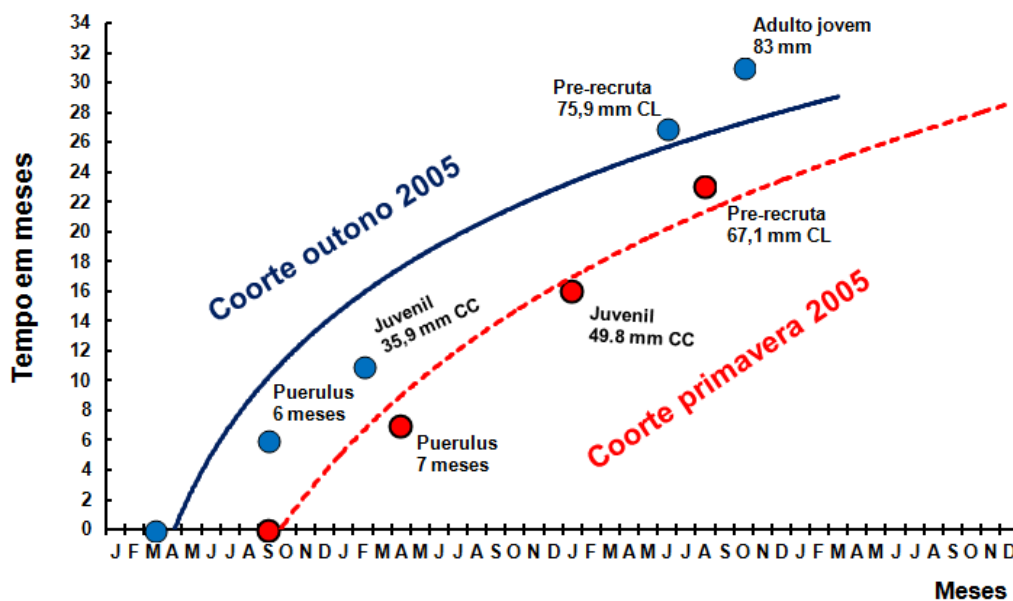
Na coorte austral de 2005 (Figura 24), a principal época de desova ocorre nos meses de março e setembro. As larvas recém-eclodidas passam por dez estágios phyllosoma (GOLDSTEIN *et al.*, 2008), enquanto permanecem à deriva no oceano brasileiro até que finalmente se metamorfoseando atingem a fase de puerulus. Nesta pesquisa, os resultados sugerem que os picos de assentamento do puerulus ocorrem nos meses de setembro e abril. Por conseguinte, é razoável supor que larvas de *P. argus* permanecem como phyllosoma em águas oceânicas por um período entre 6 e 7 meses, dependendo da época e data de desova da coorte. Isso coincide com a duração (6-8 meses) da fase phyllosoma em águas oceânicas, conforme estimado por Lewis (1951) e Alfonso *et al.* (1991) para a região do Caribe. Pode-se afirmar que o período de deriva no oceano tem aproximadamente a mesma duração no Caribe e Brasil.

Com base nos cálculos, acredita-se que os puerulus tornam-se juvenis entre os meses de fevereiro (aproximadamente 11 meses após o assentamento e 16 meses após a desova) com um tamanho médio de 35,9 mm (CC). Eles são recrutados as zonas da população adulta entre os meses de junho (16 meses após juvenil), 27 meses (2,25 anos) após a desova, com um tamanho médio de 75,9 mm (CC).

Resultados semelhantes foram relatados por Cruz *et al.* (1986) e Cruz (2001) em Cuba, onde as lagostas recrutam-se para as áreas de pesca em cerca de 2,3 anos de idade, medindo 74-79 mm CC (média: 76,8 milímetros de CC). Na Florida, o recrutamento para as áreas dos adultos ocorre com um tamanho médio de 76,2 milímetros de CC (DAVIS, 1978, 1985; DAVIS e DODRILL, 1980), quando os indivíduos têm idades de 1,5-2,0 anos (FORCUCCI *et al.*, 1994; BUTLER e HERRNKIND 1997).

Na coorte de primavera de 2005 (Figura 24) observa - se um pico de desova secundária em setembro. Sete meses mais tarde (abril de 2006), as phyllosomas realizam a metaforfose ao estágio puerulus. Tornam-se juvenil aproximadamente aos 9 meses, após o assentamento (16 meses após a eclosão) com um tamanho médio de 49,8 mm (CC) e recrutados (média 67,1 mm de CC) à pesca aos 23 meses após desova. Cruz *et al.* (2011) relatam esse mesmo tempo do recrutamento, na região do Brasil.

Figura 24 - Esboço teórico do padrão de recrutamento da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804), na plataforma continental do Brasil, referente à evolução de uma coorte desde o nascimento, representado pelo ciclo de reprodução, no momento em que tem acesso à costa brasileira (recrutamento larval), aos criadouros da fase juvenil e finalmente à população adulta.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa. Nota: modificado de Cruz *et al.*, 2016.

As diferenças entre os tempos do assentamento e recrutamento em cada fase e entre a coorte de outono e primavera são desconhecidas. Ressalta-se que é necessário um estudo, considerando-se o tipo de presas que depredam estas fases do ciclo de vida em cada estação do ano.

A presente análise do recrutamento larval de *P. argus*, na plataforma continental do Brasil, e sua associação posterior a processos ambientais e oceânicos, pode ajudar a avaliar as potenciais conexões entre estoques de *P. argus* e padrões mensais de recrutamento larval e juvenil para dispositivos artificiais. Puerulus, juvenis e pré-recrutas são índices complementares e demonstram a utilidade dos índices independentes da pesca, na predição do recrutamento. Embora, neste estudo, os resultados indiquem claramente uma associação entre locais de recrutamento larval e processos oceânicos em ambos os hemisférios, norte e sul, mais estudos serão necessários para

esclarecer a interação entre os fatores ambientais e o complexo ciclo de vida da lagosta, bem como os efeitos das unidades populacionais reprodutoras sobre o nível de assentamento do puerulus.

Pesquisas futuras devem concentrar-se na distribuição oceânica das larvas phyllosoma em diferentes fases do desenvolvimento ontogenético. Para tanto, é necessário a implantação de um extenso programa de amostragem e coleta espécie-específica, gerando informações sobre assentamento do puerulus ao longo da costa brasileira em base mensal com duração prolongada por vários anos.

Os resultados de Cruz *et al.* (2015), na plataforma continental do Brasil, relatam que o assentamento do puerulus ocorre durante todo o ano, mas dois picos anuais foram identificados: um em março-abril e outro em julho-setembro, quando vórtices da retroflexão da Corrente Norte do Brasil são mais intensos e avançam na direção leste da Contracorrente Norte Equatorial. É concebível que as larvas de lagostas brasileiras fiquem aprisionadas, nesse sistema oceânico, levando ao autorrecrutamento. No Brasil, o período larval dura de 6 a 7 meses, dependendo da data da estação e desova. No Caribe, o período relatado é de 6 a 8 meses. Informações sobre a abundância relativa de larvas de lagostas em estágio inicial tornam possível prever os padrões de recrutamento de puerulus e o tempo do seu ciclo de vida. No entanto, mais pesquisas sobre as variações sazonais das correntes locais, de correntes de retroflexão e de formação de vórtices serão necessárias para esclarecer aspectos importantes do transporte larval, do assentamento e recrutamento de puerulus.

4.8 Relações do recrutamento com a descarga do rio Amazonas

A descarga média mensal do rio Amazonas nos últimos 44 anos são de 174.435 (m^3s^{-1}) que constitui 86% do total dos rios analisados, seguindo a ordem de importância os seguintes rios (norte-nordeste): Tapajós (6%), Tocantins (5,53%), Parnaíba (0,36%), Gurupi (0,24%) e Acaraú (0,01%). Na comparação de outros rios caudalosos do Brasil com regiões da América do Sul, destacam-se que os rios do presente estudo (Tabela 1) apresentam uma drenagem superior ao similar (com exceção do Acaraú), como os reportados

para outras regiões. Para entender sua variabilidade, influência e descarga desses rios não amazônicos ao ecossistema bentônico onde habitam depredadores chaves, por exemplo, a lagosta e suas presas, é necessário estudar sua coerência espacial e temporal, bem como sua relação com o recrutamento.

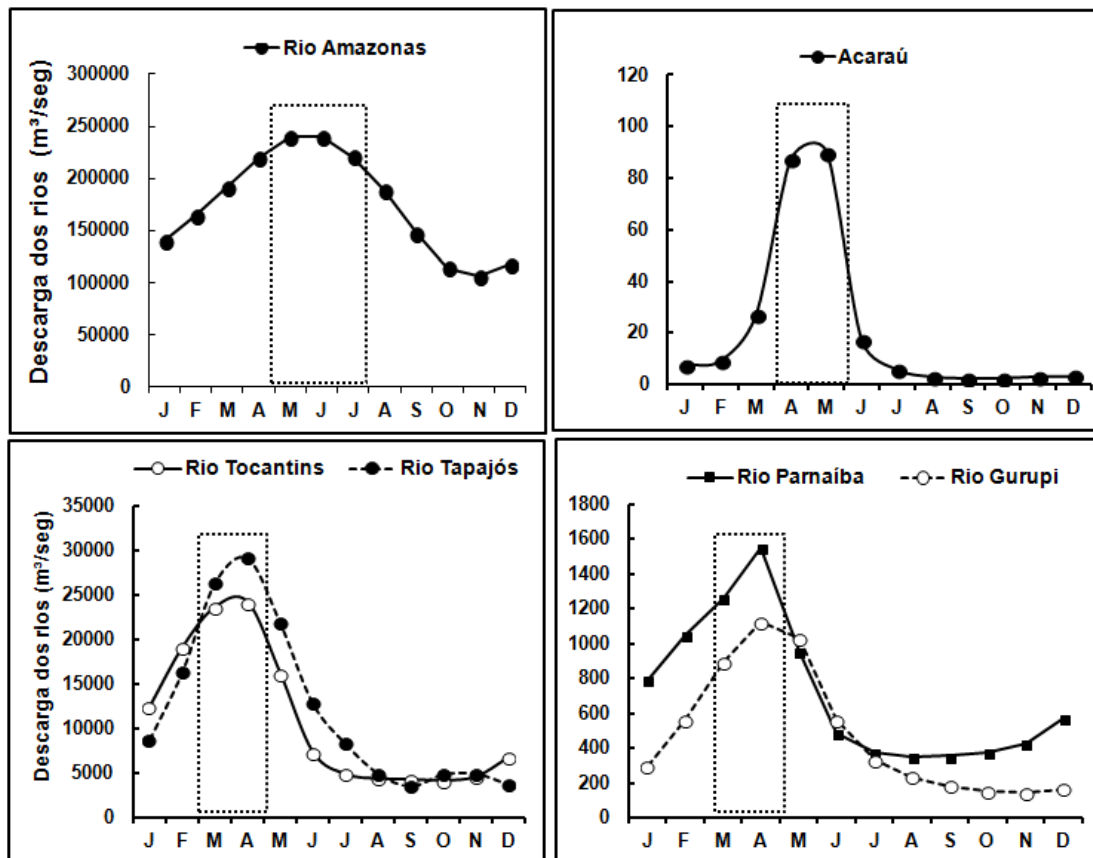
Tabela 1- Descarga média anual dos principais rios da região Norte e Nordeste (presente estudo) e outras zonas do Brasil e América do Sul.

País	Rios (Presente estudo)	Vazão média anual ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	País	Rios	Vazão média anual ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) (Molleri, 2008)
Brasil	Amazonas	174435	Venezuela	Orinoco	25067
Brasil	Tapajós	12063	Guyana	Essequibo	2214
Brasil	Tocantins	10981	Brasil	Xingu	8607
Brasil	Parnaíba	713	Brasil	São Francisco	2943
Brasil	Gurupi	473	Suriname	Marowijne	1864
Brasil	Acaraú	22	Guyana	Oyapock	893
			Suriname	Coppename	327
			Suriname	Nickerie	89

Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

O padrão sazonal da descarga média mensal caracterizou-se por um máximo alcançado entre os meses de março-abril para quase todos os rios (Tapajós, Tocantins, Parnaíba e Gurupi). Posteriormente, observa-se um fluxo máximo entre abril e maio para o rio Acaraú e, finalmente um fluxo máximo entre os meses de maio e julho, no rio Amazonas (Figura 25). Independentemente da intensidade do caudal, observa-se que os fluxos sazonais dos rios não amazônicos estão incluídos no padrão estacional do rio Amazonas, sendo assim, pode considerar-se as variações de sua descarga como um índice regional ou continental que poderia ser relacionado com os diferentes eventos do ciclo de vida da lagosta.

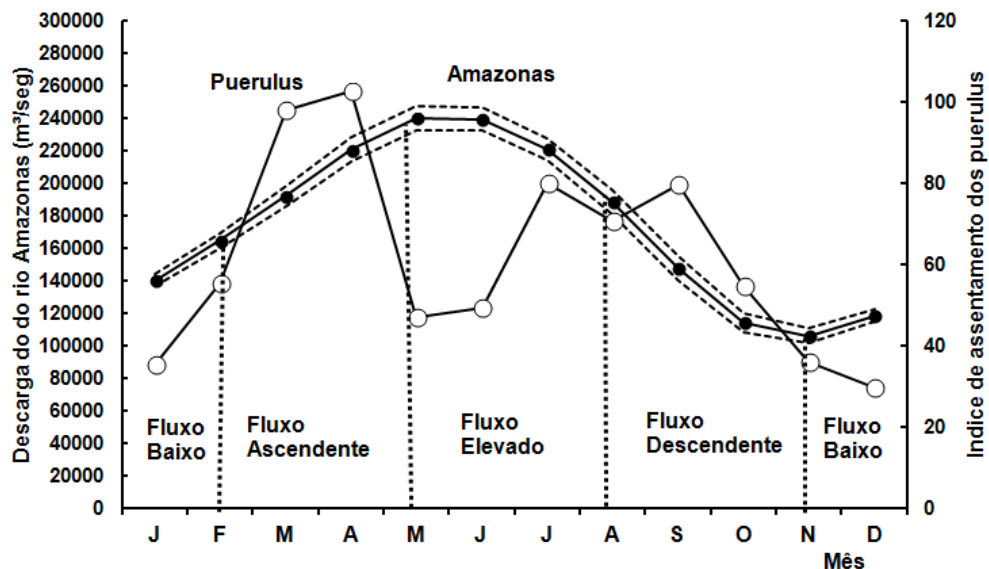
Figura 25 - Padrão estacional da descarga média do rio (1968-2015) Amazonas (m^3/seg) comparados com outros rios da região Norte e Nordeste do Brasil: rio Acaraú (2005-2015), rio Tocantins (1978-2015), rio Tapajós (1968-2013), rio Parnaíba (1982-2007) e rio Gurupi (1972-2015).



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

O rio Amazonas apresenta um padrão estacional durante as análises da série temporal entre 1970 e 2014, com um intervalo de confiança (95%) muito preciso (Figura 26). Observa-se que o padrão dos puerulus alcança seus valores mais elevados quando a descarga da Amazonas está em fase de fluxo ascendente. Além disso, existe uma correlação entre a descarga do rio Amazonas e o índice de abundância dos puerulus, com resultados altamente significativos ($p < 0,05$), mostrando que as máximas correlações inversas ocorrem com uma defasagem entre 7 e 9 meses.

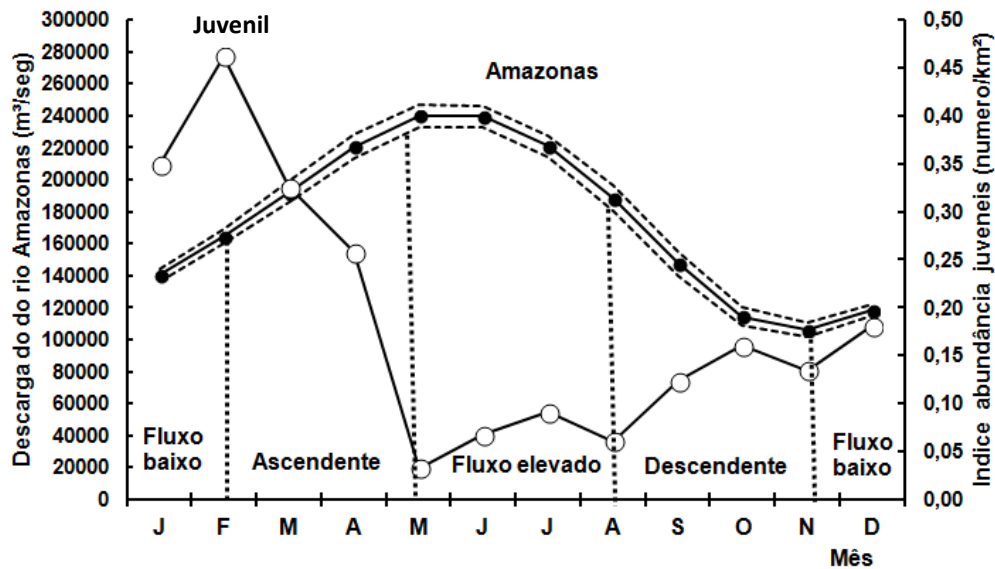
Figura 26 - Relação entre índice de abundância média dos puerulus da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e a descarga média do rio Amazonas (m^3/seg) entre 1970-2015 (linha contínua escura) e seu intervalo de confiança para 95% (linha descontinua).



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa de acordo com a classificação dos fluxos do Amazonas de Salisbury *et al.* (2011).

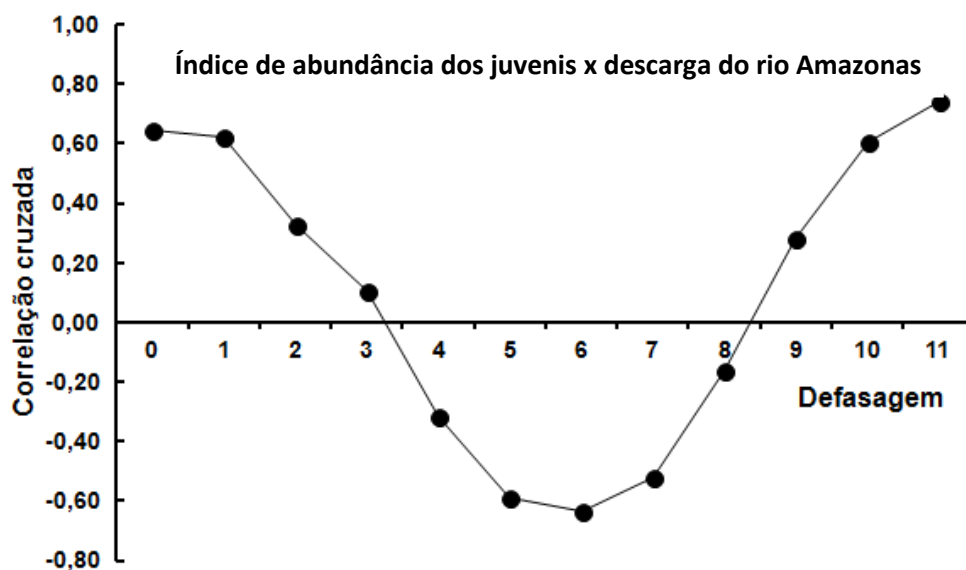
O padrão dos juvenis alcança seus valores mais elevados quando a descarga do Amazonas está em fase de fluxo ascendente. Além disso, existe uma correlação entre o índice de abundância dos juvenis e a descarga do rio Amazonas com resultados altamente significativos ($p < 0,05$), revelando que as máximas correlações ocorrem com uma defasagem entre 0 e 1 mês (Figura 27). Observa-se, ainda, uma máxima correlação significativa ($p < 0,05$) inversa entre 5 e 7 meses quando a descarga do rio Amazonas alcança seus valores de elevado fluxo entre maio e junho e a abundância dos juvenis alcança valores baixos (Figura 28).

Figura 27 - Relação entre o índice de abundância dos juvenis da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) e a descarga média do rio Amazonas (m^3/seg) entre 1970-2015 (linha contínua escura) e seu intervalo de confiança para 95% (linha descontínua). Período 2014-2015.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa de acordo com a classificação dos fluxos do Amazonas de Salisbury *et al.* (2011).

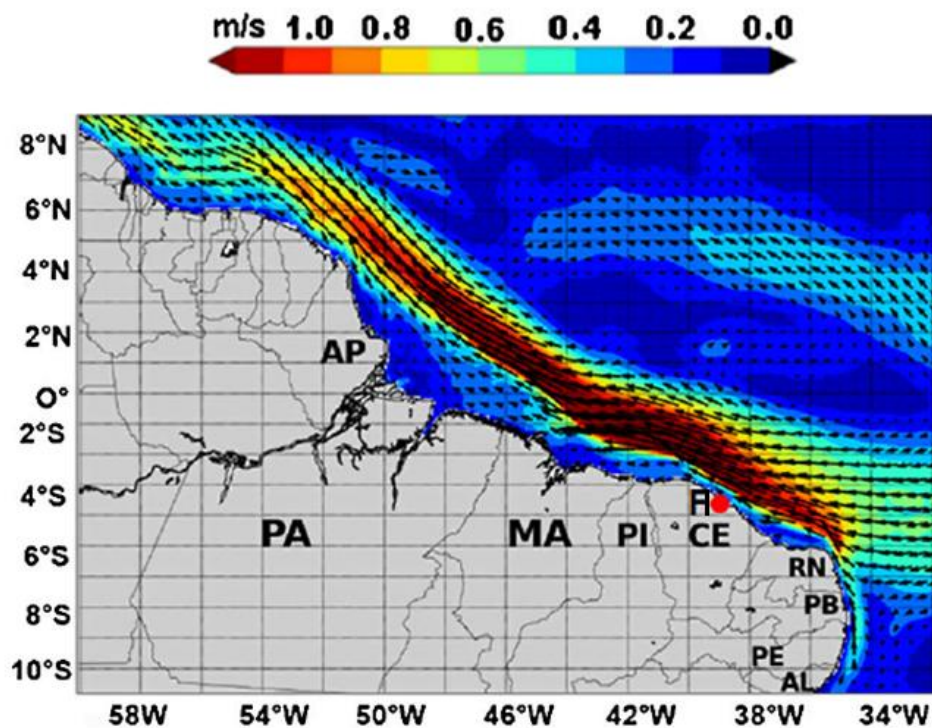
Figura 28 - Análises de correlação cruzada entre o índice de abundância dos juvenis e a descarga do rio Amazonas. Período 2014-2015.



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa.

A persistência da descarga do Amazonas, no oceano aberto, é disseminada para o Atlântico Ocidental em direção ao Caribe (GONZALEZ-SILVERA *et al.*, 2004; CHÉRUBIN e RICHARDSON, 2007). Além disso, parte da pluma do Amazonas propaga-se para o Leste (entre 3° e 10° N) levado a cabo pela contracorrente Norte Equatorial (MULLER-KARGER *et al.*, 1989). Ao longo da plataforma continental brasileira, a pluma de água está entre 3 a 10 m, e pode alcançar uma profundidade entre os 40-45 m de (LENTZ e LIMEBURNER 1995; HELLWEGER e GORDON 2002), fertilizando o oceano adjacente com a entrada de nutrientes e detritos orgânicos. Entre os meses de abril e junho a retrofleção da corrente está fracamente estabelecida ou ausente (Figura 29) e a Corrente Norte do Brasil (CNB) é mais forte perto da região costeira, fatores responsáveis pelo pico de assentamento dos puerulus (média 100.33 ± 4.57 ; IC at 95%) entre março e abril (CRUZ *et al.*, 2015).

Figura 29- Mapa mostrando a direção (flechas) e velocidade (diferentes cores) da corrente Norte de Brasil. Período: abril, maio e junho de 2003, 2005 e 2006.



Fonte: Seasonal averages da corrente superficial (m/s) obtida de Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM/NCODA), modificado de CRUZ *et al.*, 2015. Legenda: ponto vermelho representa a localidade de amostragem de juvenis em Acaraú – CE, nesses períodos.

As maiores taxas de clorofila-a (mg/m^3) concentraram-se na zona costeira, sobre a pluma do rio Amazonas e a capa superficial da Corrente Norte do Brasil (CNB). O ciclo anual (2002-2012) da clorofila-a atinge seu máximo valor entre os meses de junho e julho próximo ao núcleo da CNB (GALVÃO; TEXEIRA, 2010). O modelo desenvolvido por Salisbury *et al.* (2010) sobre a absorção de luz pelo carbono orgânico colorido (CDM - colored detrital matter) na descarga do rio Amazonas mostra também que existe uma elevada concentração de CDM durante o fluxo elevado (Maio-Julho) do rio até uma distância média desde sua desembocadura entre 600 e 1.200 km. Os dois modelos analisados aparentemente estão relacionados, e poderiam ser interpretados como áreas de elevada produtividade, aspecto de grande relevância para testar a hipótese sobre a relação entre a variabilidade do índice de assentamento dos puerulus e as concentrações da clorofila-a, aspecto que foi demonstrado para a espécie *Panulirus cygnus*, (Caputi *et al.*, 2014).

A obtenção de informações sobre a densidade ecológica das larvas de lagostas por estágio desde a isóbata de 200 m até a região oceânica seria de grande relevância para testar as hipóteses sobre a transmigração das larvas, os processos de conectividade, o autorecrutamento e sua relação com a circulação oceânica em grande escala.

As descargas dos rios propiciam a deposição de sedimentos por ter um efeito diferencial em diversos processos físicos e biológicos, incluindo, transporte e transformação de matéria orgânica e produção primária, incrementando a quantidade de fitoplâncton e zooplâncton (GALAT *et al.* 1998, TOCKNER *et al.* 2000).

Nas regiões Norte e Nordeste da plataforma continental do Brasil, não existem estudos entre a abundância do fitoplâncton e zooplâncton na coluna d'água. É relevante assinalar a importância do estudo qualitativo e quantitativo dos organismos bentônicos, periodicamente, para determinar sua abundância em diferentes faixas de profundidade, bem como os estudos do fitoplâncton, zooplâncton e as interações das presas e depredadores, e talvez isso poderia explicar a diminuição da abundância de juvenis durante a descarga máxima (entre os meses de maio e agosto) do Amazonas. Esse complicado processo deve ser pesquisado para conhecer os tipos de cascatas tróficas que podem se estruturar no ecossistema bentônico da lagosta.

Outras variáveis ambientais (temperatura média superficial do mar e pluviosidade) não foram analisadas. Considerando-se que os resultados de Cruz *et al.* (2011), na plataforma continental nordestina, sobre os valores das correlações cruzadas entre as variáveis ambientais e o recrutamento forneceram, em geral, uma evidência muito duvidosa de uma relação causa-efeito. Na plataforma continental sul de Cuba, as correlações entre os índices de assentamento de puerulus e chuva, temperatura, salinidade e nível do mar não foram significativos em todas as localidades analisadas, talvez motivada pelo curto período das séries analisadas (seis anos) ou porque têm pouco efeito direto sobre o assentamento quando analisados separadamente (CRUZ, 1999).

4.9 Inter-relações ecológicas do ciclo de vida da lagosta (*Panulirus argus*)

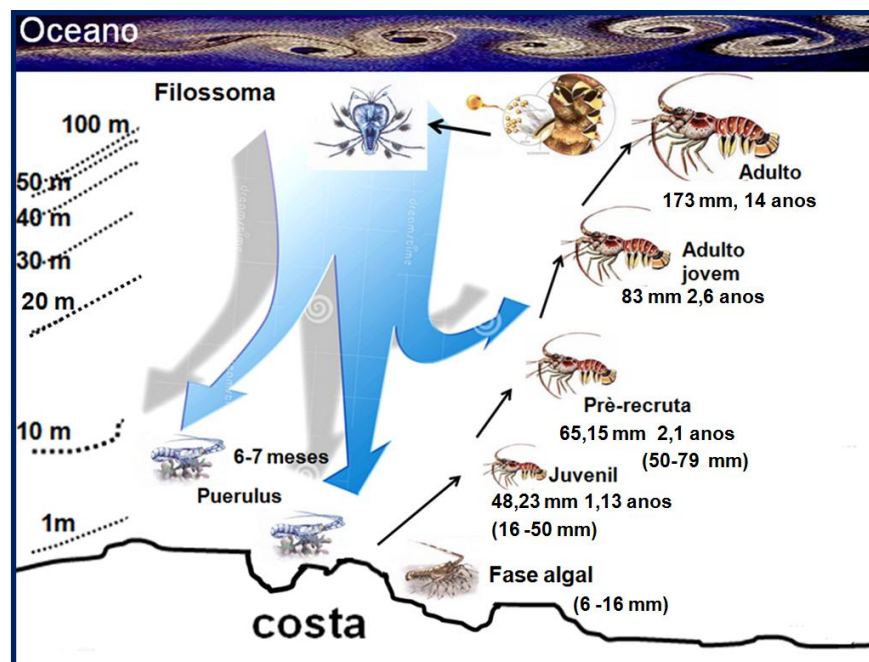
A lagosta (*Panulirus argus*) experimenta diferentes mudanças de *habitat* durante seu desenvolvimento ontogenético na plataforma continental do Brasil (PCB). Neste estudo, pesquisou-se a dinâmica do ciclo de vida, conjuntamente com outros resultados já publicados, abordando suas interrelações ecológicas resumidas no esquema teórico a seguir (Figura 30) e que são aportes científicos novos ao conhecimento do ciclo de vida dessa espécie no Brasil.

A estratégia reprodutiva desenvolvida pela espécie *P. argus*, na qual a reprodução ocorre durante todo o ano, com um período de desova principal nos meses de fevereiro a abril e de agosto a outubro, com um pico mais proeminente em março e um menos proeminente em setembro (SOARES; CAVALCANTE, 1984), com uma elevada produção de ovos, tem sido bastante exitosa. Embora o modo como se reproduz seja muito primitivo, o mesmo vem sendo bem sucedido ao longo do tempo, garantindo a conectividade dentro da população durante anos, apesar do impacto ascendente da coleta desses crustáceos há mais de meio século.

Os ovos fecundados têm um diâmetro entre 509 e 618 μm (CRUZ, 1980; AYRA e CRUZ, 2010) e mais de 90% morrerá. O número de ovos fecundados nas fêmeas ovígeras está em função do comprimento da carapaça (CRUZ, 1980; RAMÍREZ, 1996; BERTELSEN e MATTHEWS, 2001). Por

exemplo, a uma profundidade entre 50 e 100 m uma fêmea entre 170 e 180 mm (CC) poderá por entre 3,0 e 3,4 milhões de ovos, com uma eficiência reprodutiva mais de três vezes superior ao comprimento da carapaça das fêmeas que habitam entre 30-40 m e têm um CC entre 80 e 89 mm (CRUZ *et al.*, 2014). Nas áreas amostradas na região profunda, grandes fêmeas ovígeras foram frequentes mais que as pequenas fêmeas. Na PCB, os ovos foram encontrados em fêmeas de diferentes tamanhos (desde 60 mm de CC até mais de 180 mm CC), mas foram frequentemente mais observadas no tamanho da classe 90-120 mm (76%). Fêmeas maiores que 120 mm (CC) têm uma elevada fecundidade, produzindo mais de um milhão de ovos pelo menos em duas ninhadas separados por três ou quatro semanas (AYRA; CRUZ, 2010). Em lagostas tropicais, MacDiarmid e Kittaka (2000) sugerem que frequência de desova depende da faixa latitudinal.

Figura 30 - Esboço teórico da dinâmica do ciclo de vida da lagosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) por faixa de profundidade na plataforma continental do Brasil.⁷



Fonte: elaborada pelo autor da pesquisa e modificada a partir de Cruz *et al.* (2015).

⁷ Os tempos (anos) referem-se aos resultados da Figura 24 e o comprimento médio da carapaça de cada fase de vida foram calculados a partir da amostragem realizada por faixa de profundidade

A partir da eclosão, as larvas filossomas permanecem entre 6 e 7 meses na região oceânica da plataforma continental do Brasil, dependendo de data da estação e desova (CRUZ *et al.*, 2015). No Caribe, o período é relatado ser de 6-8 meses (LEWIS *et al.*, 1952; KITAKA, 1994). Pesquisas sobre a densidade ecológica das larvas de lagostas por estágio desde a isóbata de 200m até a região oceânica serão de grande relevância para testar as hipóteses sobre a transmigração das larvas, os processos de conectividade, o autorrecrutamento e sua relação com a circulação oceânica em grande escala.

O puerulus é uma fase pelágica natatória de transição entre *habitat* oceânico e bentônico, embora esse mecanismo seja pouco conhecido. O assentamento dos puerulus ocorre em águas costeiras com um tamanho médio de 5,63 mm (CC), variando entre 4,24 e 6,09 mm (CC), e uma mortalidade natural (M) calculada de 0,98 (CRUZ *et al.*, 2007). Existem evidências de que a fase natatória do puerulus não se alimenta, mas as reservas lipídicas armazenadas no hepatopâncreas durante a fase larval, subministram à energia necessária para realizar uma migração ativa através da plataforma continental em direção à costa (JEFFS *et al.*, 1999; PHILLIPS *et al.*, 2006).

Na plataforma continental do Brasil, o assentamento do puerulus ocorre durante todo o ano, mas dois picos anuais foram identificados: um entre os meses de março a abril e outro entre os meses de julho a setembro, quando vórtices da retroflexão da Corrente Norte do Brasil são mais intensos e avançam na direção leste da Contracorrente Norte Equatorial. É concebível que as larvas de lagostas brasileiras estejam aprisionadas nesse sistema oceânico, levando ao autorrecrutamento (CRUZ *et al.*, 2015). No entanto, mais pesquisas sobre as variações sazonais de correntes locais, de retroflexão e de formação de vórtices são necessárias para esclarecer aspectos importantes de transporte larval e assentamento do puerulus.

No Brasil, não existe uma identificação morfológica precisa das pós-larvas de lagosta por espécie. Estima-se que mais de vinte espécies de lagosta habitem a costa brasileira e pouco se sabe sobre a distribuição e conectividade de suas populações e menos ainda sobre seu recrutamento. Atualmente, a caracterização genético-molecular das formas jovens é relativamente simples. Abordagens genéticas já foram realizadas previamente para populações de lagosta adulta da costa brasileira através de marcadores de DNA mitocondriais

e nucleares que provaram ser extremamente úteis na discriminação de espécies e populações (DINIZ *et al.* 2005, 2007; TOURINHO *et al.* 2012). Portanto, além da identificação genética, a descrição morfológica dos estágios puerulus, pós-puterulus e juvenis de cada espécie é útil e necessária.

Depois do assentamento, ocorre a metamorfose, transformando-se no estágio pós-puterulus ou fase algal (não gregária) cuja gama de tamanho é entre 6,0 e 16,5 mm (CC) para a zona sul de Cuba (CRUZ *et al.*, 2001a) e entre 5 e 15 mm (CC) para a região da Florida (EUA) (BUTLER; HERRNKIND, 1997). Os valores médios de puerulus relatados para Cuba, Florida e Caribe Colombiano (Jaimes, comunicação pessoal) foram de 5,63 mm (CC), 5,68 mm (CC) e 6,18 mm (CC) respectivamente. Não existem suficientes informações para estabelecer as diferenças dos tamanhos dos puerulus, em sua área de distribuição, questão importante que é necessário conhecer.

A mortalidade natural (M) do puerulus é desconhecida e seu micro-habitat é localizado nos clones de algas vermelhas *Gracilaria sp* e em menor quantidade *Hypnea sp*, na região de Fleicheiras (3°14,5'S e 39°13,5'W). Embora, Igarashi (2010) relatou que, na praia de Fortaleza (3°43'S e 38°29'W), foram coletadas em algas vermelhas da espécie *Amansia sp.* e *Cryptonemia sp.* As evidências suportam a hipótese de que a seleção de um substrato adequado para realizar o assentamento dependerá da abundância de algas vermelhas (*Rhodophyta*) em cada região, considerando-se que essas algas são bentônicas, filamentosas e apresentam uma estrutura de muitas dimensões fracionárias (superfície fractal) que permite um refúgio adequado para garantir sua sobrevivência e alimentação.

Segundo Cruz (2007), na fase algal, permanecem isolados e escondidos na vegetação, possivelmente com presas abundantes (MARX; HERRNKIND, 1985; HERRNKIND *et al.*, 1988), e protegidos dos predadores (HERRNKIND e BUTLER, 1986; SMITH e HERRNKIND, 1992). Isso pode garantir sua sobrevivência, porque eles não são regulados pelos processos denso dependentes. Porém, a ecologia do puerulus pelágico e benthico permanecem na obscuridade e precisam ser pesquisados no meio natural.

No Caribe, a fase algal tem como habitat os fundos duros cobertos por clones de algas vermelhas *Laurencia intricata* (MARX e HERRNKIND, 1985; HERRNKIND e BUTLER, 1986; LALANA *et al.*, 1989), que estão associadas a

29 espécies de outras algas entre as quais as espécies dominantes foram as rodofíceas, como: *Jania capillacea*, *Fosliella farinosa*, *Polysiphonia sphaerocarpa* e -cianobactérias *Lyngbia sp* (BRITO e SUÁREZ, 1994).

Lagostas são consideradas juvenis quando atingem um tamanho entre 16 e 20 mm, entre 15 e 20 mm na Flórida, de acordo a Forcucci *et al.*, (1994) quando já são diferenciados externamente os sexos, com a coloração típica da espécie, um comportamento solitário e uma elevada taxa de mortalidade. Os primeiros estágios dos juvenis (< 30 mm, CC) em geral continuam ocupando os mesmos refúgios da fase algal, por um determinado período, até ocorrer as primeiras mudas, quando se movem para um espaço maior segundo os relatos de Yoshimura e Yamakawa (1988). Posteriormente, emergem dos locais de abundante vegetação e se abrigam em cavernas que fornecem as rochas, recifes de coral, esponjas e octocorais, assumindo um comportamento gregário considerado uma estratégia antipredador (BUTTLER *et al.*, 1999), com acesso a presas abundantes, que os tornam robustos para aumentar a densidade da população. Em refúgios artificiais a média dos juvenis foi estimada em 42% (CRUZ *et al.*, 2006), embora em meio natural talvez seja maior.

A amostragem dos juvenis, na plataforma insular de Cuba e Brasil, foi realizada em refúgios artificiais, mas localizados em diferentes profundidades, entre 1-2 m e 3-5 m, respectivamente. Cruz *et al.*, (2001) relataram que os juvenis variaram entre os 16 e 50 mm (CC) (1-2 m) e neste estudo foi identificada a fase juvenil entre 30 e 50 mm (CC) a uma maior profundidade (3-5 m). Embora exista uma similaridade entre os comprimentos em ambas as áreas, estudos complementares deverão ser realizados a uma profundidade entre 1 e 3 m com o fim de amostrar os indivíduos menores da população.

As pesquisas, no Caribe, sugerem que entre os 45 e 50 mm (CC) (HERRNKIND e BUTLER, 1994; CRUZ *et al.*, 1986 e 2001) é iniciado o nomadismo com uma atividade de forrageio maior, quando o tamanho das presas é maior. Na mesma região do Mar do Caribe, as lagostas recrutam-se na população dos adultos com um comprimento médio da carapaça entre 76,8 mm (CRUZ *et al.*, 1986b) e 76,2 mm (DAVIS, 1978) segundo relataram os programas de marcação de juvenis dos referidos autores, embora, entre os 45 e 50 mm podem iniciar este movimento como pré-recrutadas. É imprescindível

executar um programa de marcação das primeiras fases do ciclo de vida da lagosta no berçário dos juvenis, na região de Acaraú - CE.

Os juvenis são uma fase importante, no ciclo de vida da lagosta, por estar a uma distância muito próxima à fase adulta. Comparando com as fases precedentes, eles têm uma média menor e com uma tendência decrescente com o aumento da idade. Em um tempo aproximado de 16 meses recrutam-se na população adulta, entre 23 e 27 meses depois da desova, são pré-adultos entre 2,6 e 3,0 anos aproximadamente.

O índice juvenil obtido em refúgios artificiais de blocos de concreto localizados em um criadouro de lagosta, na plataforma sul ocidental do Golfo de Batabanó (Cuba), provou ser um previsor confiável do recrutamento e a captura total da lagosta (*Panulirus argus*) com até 1 ano de antecedência (Cruz e Adriano, 2001). No Brasil, considera-se que os criadouros estão perto na costa, entre 0,5 e 1 km e a uma profundidade entre 1 e 5 m (água rasa). É provável que essas condições geográficas poderiam facilitar a implementação de um programa de amostragem periódico dos juvenis para estimar as variações do recrutamento e estabelecer um modelo de previsão das capturas no curto prazo. Considerando-se que as larvas de lagostas brasileiras estão aprisionadas, nesse sistema oceânico, levando-as ao autorrecrutamento (CRUZ *et al.*, 2015), é muito provável que o nível de recrutamento das populações fechadas do hemisfério sul seja representativo do nível atual de recrutamento na área.

Na plataforma continental brasileira, a lagosta vermelha *P. argus* constitui uma população fechada, com dois estoques distintos, uma em águas rasas (<50 m) e um outro em águas mais profundas (50-100 m). Ambos são altamente explorados, especialmente animais jovens com tamanho inferior ao mínimo legal (<75 mm, CC) e indivíduos mais velhos. O declínio observado nos desembarques de lagostas ao longo das últimas duas décadas, se acredita ser devido à sobrepesca do crescimento em águas rasas, já que mais da metade das lagostas colhidas estão abaixo do tamanho mínimo legal (75 mm, CC), considerando-se um comprimento de primeira captura de 61 mm CC. Lagostas que desovam em águas mais profundas, têm um comprimento de primeira captura de 96 mm CC, classe de tamanho (90-99 mm, CC) que coincide com a de maior potencial reprodutivo. Além disso, a captura de fêmeas ovígeras e

lagostas mais velhas (>135 mm, CC), em águas mais profundas, aumenta o risco de baixo recrutamento e o colapso de pesca (CRUZ *et al.*, 2014).

Em população adulta, um estoque de lagosta em águas profundas (50-100 m) foi identificado e avaliado, onde habitam exemplares com tamanho máximo de 174 mm (CC) para machos e 173 mm (CC) para fêmeas. As classes de tamanho 90-99 mm CL, 100-109 mm CL e 110-119 mm CL foram associadas com o maior percentual à produção de ovos (76%) em 73% das fêmeas capturadas (CRUZ *et al.*, 2014). Desconhece-se a quantificação da intensa exploração dos exemplares das lagostas (*P. argus*) de grande tamanho (> 100 mm comprimento do cefalotórax), em *habitat* profundo (50-100 m).

Os *habitats* de lagosta, em águas profundas, necessitam de atenção especial visando à proteção da espécie da sobrepesca do recrutamento. Considerando-se a longevidade e a ausência de senilidade reprodutiva em lagostas, estratégias de gestão devem incluir a criação de áreas marinhas protegidas para garantir as desovas, capazes de restaurar e manter a biomassa da população reprodutora e o estabelecimento de um tamanho máximo de captura de 135 mm CC para ambos os sexos, para toda a costa do Brasil. Os resultados permitem propor uma área marinha protegida de lagosta (50-100 m) ao longo da plataforma continental norte do Brasil, do Amapá (5°25'N e 5°W) até a costa oeste de Pará (1°11'N 46°27'W, 0°42'N 46°45'W), cobrindo uma área superficial total de 64.230 km² (CRUZ *et al.*, 2014). Em águas do norte, nordeste e sudeste devem continuar os estudos de campo para obter uma melhor compreensão das variações do potencial reprodutivo (abundância de ovos), estoque-recrutamento e eficiência reprodutiva de lagostas com relação à localização, profundidade e tamanho de classe.

Os aparelhos de pesca não são seletivos (SANTANA *et al.*, 2015), o “manzuá”, “covo” ou “redes” não têm dispositivo de exclusão (janelas de saída ou escape, “gaps” em Inglês) que permitam o escape de lagostas inferior ao tamanho legal, de fêmeas ovadas, com massa espermatofórica, e também outras espécies não alvos. Inclusive, nas fêmeas ovadas capturadas, faz-se a raspagem dos ovos para poderem ser comercializadas, prática inadequada e que diminui o potencial reprodutivo da espécie.

5 CONCLUSÕES

1. Na plataforma continental do Brasil, existe uma relação entre o comprimento médio da carapaça e a profundidade onde habita a lagosta *Panulirus argus*. Os exemplares de menor tamanho (puerulus-fase algal) habitam nas algas vermelhas em águas rasas (1-3 m) e posteriormente acontece uma mudança progressiva do habitat, relacionada com o aumento da profundidade e o tamanho dos indivíduos.

2. A variabilidade espaço-temporal do recrutamento da lagosta *P. argus* está relacionada com as estratégias do ciclo de vida. A maior variação surge durante o assentamento do puerulus e diminui com o aumento da idade. O período de assentamento dos puerulus ocorre durante todo o ano, identificando-se dois picos anuais, um em março-abril e outro em julho-setembro. O período de máximo recrutamento dos juvenis ocorre entre os meses de fevereiro e março, enquanto os pré-recrutas tenderam a aumentar entre os meses de junho a agosto.

3. A maior produção de ovos na população da lagosta *P. argus* está associada às fêmeas de maior tamanho (> 90 mm CC) que habitam em profundidades entre 30 e 100 m. As lagostas fêmeas do setor mais profundo (50-100 m) apresentam uma maior contribuição ao total de ovos da população, ao serem mais eficientes reprodutivamente e de maior tamanho.

4. A descarga do rio Amazonas e de outros rios de importância na região podem ter influência no comportamento estacional do assentamento dos puerulus. O assentamento dos puerulus alcança seus valores mais elevados quando a descarga está em fase de fluxo ascendente (entre os meses de fevereiro e maio) e descendente (entre os meses de agosto e novembro). Padrões similares foram interpretados para os juvenis.

6 RECOMENDAÇÕES

1. A dinâmica do ciclo de vida da lagosta e suas relações com o ambiente é um processo bastante complexo, que precisa ser estudado e analisado com séries temporais anuais durante um período mínimo de dez anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, C. A.; BUTLER, M. J. Adaptive strategies that reduce predation on Caribbean spiny lobster postlarvae during onshore transport. **Limnol. Oceanogr.**, Texas, v. 3, n. 44, p. 494-501, 1999.

ALFONSO, I.; FRIAS, M. P.; BAISRE, J.; HERNANDEZ, B. Distribución vertical de filosomas de *Panulirus argus* y su relación con algunos factores hidroclimáticos al sur del Golfo de Batabanó. **Rev. Cub. Inv. Pesq.**, Havana, v.19, n. 1, p. 3 – 9, 1995.

ALFONSO, I.; FRIAS, M. P.; BAISRE, J.; CAMPOS, A. Distribución y abundancia de larvas de la langosta *Panulirus argus* en aguas alrededor de Cuba. **Rev. Inv. Mar.**, Havana, v. 12, n. 1/3, p. 5-19, 1991.

ALVES, M. I. M.; BEZERRA, R. C. F. Sobre o número de ovos da lagosta *Panulirus argus* (Latr.). **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 33-35, 1968.

ALVES, M. I. M.; PAIVA, M. P. Frequência de acasalamentos em lagostas do gênero *Panulirus White* (Decapoda, Palinuridae). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 16, n. 2, p. 61-63, 1976.

ALVES, M. I. M.; TOMÉ, G. S. On the histological structure of the gonads of *Panulirus argus* (Latreille). **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, n. 5, p. 15-26, 1965.

ALVES, M. I. M.; TOMÉ, G. S. Estudo sobre as gônadas da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latr.). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 1-9, 1966a.

ALVES, M. I. M.; TOMÉ, G. S. Observações sobre a origem e desenvolvimento da massa espermatofórica de *Panulirus laevicauda* (Latr.). **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 99-102, 1966b.

- ALVES, M. I. M.; TOMÉ, G. S. Escala de cores para ovários da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 99-100, 1969.
- BAISRE, J. A. Distribución de las larvas de *Panulirus argus* y *Scyllarus americanus* (Crustácea, Decapoda) en aguas alrededor de Cuba. **Rev. Inv. Inst. Nac. Pesca**, Havana, v. 3, n. 2, p. 97-277, 1976.
- BORGES, G. A. Determinação de parâmetros biométricos em *Panulirus argus* (Latreille). **Bol. Est. Pesca**, Recife, v. 4, n. 1, p. 3-10, 1964.
- BRIONES, F. P.; GUTIÉRREZ, D. Variaciones en el patrón de reclutamiento de postlarvas de la langosta *Panulirus argus* en Bahía de la Ascensión, México. **Rev. Inv. Mar.** Havana, v. 12, n. 1/3, p. 45-56, 1991.
- BRIONES, F. P. Variability in postlarval recruitment of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) to the Mexican Caribbean coast. **Crustaceana**, Amsterdam, v. 66, n. 3, p. 326-340, 1994.
- BRITO, M.; SUÁREZ, A. M. Algas asociadas a *Laurencia implicata* (Ceramiales, Rhodophyta) en la Cayería de Bocas de Alonso, Cuba. **Rev. Inv. Mar.** Havana, v. 15, n. 2, p. 93-98, 1994.
- BUESA, R. J. M.; ALVES, M. I. M. Escala de colores para el estudio del ciclo reproductor de la langosta *Panulirus argus* (Latreille) en el area del mar Caribe. **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 10, n. 1, p. 107-109, 1970.
- BUTLER IV, M. J.; PARIS, C. B.; GOLDSTEIN, J. S.; MATSUDA, H.; COWEN, R. K. Behavior constrains the dispersal of long-lived spiny lobster larvae. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** Germany, n. 422, p. 223-237, 2011.
- HERRNKIND, W. F.; BUTLER IV, M. J. A test of recruitment limitation and the potential for artificial enhancement of spiny lobster (*Panulirus argus*) population in Florida. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, Canada, v. 54, n 2, p. 452-463, 1997.

CAPUTI, N.; CHUBB, C. F.; BROWN, R. S. Relationships between spawning stock, environment, recruitment and fishing effort for the western rock lobster, *Panulirus cygnus*, fishery in western Australia. **Crustaceana**. Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 213-226, 1995.

CAPUTI, N.; BROWN, R. S.; PHILLIPS, B. F. Prediction of the catches of the western rock lobster (*Panulirus cygnus*) based on indices of puerulus and juvenile abundance. **Rev. Inv. Mar.**, Havana, v.12, n 1-3, p. 57-65, 1991.

CAPUTI, N.; FENG, M.; DE LESTANG, S.; DENHAM, A.; PENN, J.; SLAWINSKI, D.; PEARCE, A.; WELLER, E.; HOW, J. Identifying factors affecting the low western rock lobster puerulus settlement in recent years. **Fish. Resea. Rep.** Perth, v. 255, p. 1-144, 2014.

CARVALHO, R. C. A.; OGAWA, M. Viabilidade econômica de engorda de lagosta em viveiro no mar na comunidade de Ponta Grossa, Município de Icapuí, Ceará, 1996. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 32, n. 2, p. 176-183, 2001.

CAVALCANTE, P. P. L.; FURTADO NETO, M. A. A.; COSTA, J. M. **Ordenamento da pesca da lagosta: uma experiência desordenada**. Fortaleza: MPA/UFC, 253p, 2011.

CHUBB, C. F. Reproductive biology: Issues for management. *In*: PHILLIPS, B.F.; KITAKA, J. **Spiny Lobster Management**. Oxford: Blackwell Scientific Press, p. 245-275. Capítulo 14, 2000.

CONCEIÇÃO, R. N. L. Ocorrência de puerulus de *Panulirus laevicauda* (Latreille) nas capturas de arrastão-de-praia, no município de Fortaleza (Ceará, Brasil). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 26, n. 1, p. 83-85, 1987.

CONCEIÇÃO, R. N. L.; GESTEIRA, T. C. V.; MESQUITA, R. R. Eficiência de um coletor flutuante para a captura de puerulus de lagostas do gênero *Panulirus White*. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, n. 30, p. 21-25, 1996.

COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte y nordeste del Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, n. 10, p. 79-90, 1970.

CRUZ, R.; CÁRDENAS, L.; NGUYÊN, C. C.; NGUYEN VIET, H.; HÔ THI, C.; TRÂN, C. Biología y pesquería de las langostas espinosas (*Palinuridae*) en las aguas de la Plataforma Continental de Viet Nam del Sur. **Reporte Técnico**, Hanói, p. 1-32, 1982.

CRUZ, R.; BRITO, R.; DIAZ, E.; LALANA, R. Ecología de la langosta (*Panulirus argus*) al SE de la Isla de la Juventud. I Colonización de arrecifes artificiales. **Rev. Inv. Mar**, Havana, v 7, n.3, p. 3-17, 1986.

CRUZ, R.; TEIXEIRA, C. E.; MENEZES, M. O.; SANTANA, J. V.; NETO, T. M.; GAETA, J. C.; CINTRA, I. H. Large-scale oceanic circulation and larval recruitment of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804). **Crustaceana**, Amsterdam, v. 88, n. 3, p. 298-323, 2015.

CRUZ, R.; CONCEIÇÃO, R. N. L.; MARINHO, R. A.; BARROSO, J. C.; HOLANDA, J. S.; FÉLIX, C. S.; MARTINS, M. E. O.; SANTOS, F. S.; SILVA, K. C. A.; FURTADO NETO, M. A. A. **Metodologias de amostragem para avaliação das populações de lagosta: plataforma continental do Brasil**. Labomar (Coleção Habitat 6), Fortaleza: 142 p, 2011.

CRUZ, R.; SILVA, K. C.; SANTANA, J. V.; GAETA, J. C.; CINTRA, I. H. Reproductive Potential and Stock Recruitment of the Caribbean and Brazilian Metapopulations of the Spiny Lobster, *Panulirus argus* (Latreille, 1804) **Crustaceana**, Amsterdam, v. 87, n. 11-12, p. 1315-1337, 2014.

CRUZ, R.; DÍAZ, E.; BÁEZ, M.; ADRIANO, R. Variability in recruitment of multiple life stages of the Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*, in the Gulf of Batabanó, Cuba. **Mar. Freshwat. Res.**, Clayton South, v. 52, n. 8, p. 1263-1270, 2001.

CRUZ, R. Evaluación y ordenación del stock de langosta (*Panulirus argus*) en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. **Ramos López Fotomecánica**, Bogotá, p. 1-46, 2007.

CRUZ, R.; LALANA, R.; PERERA, E.; BÁEZ-HIDALGO, M.; ADRIANO, R. Large scale assessment of recruitment for the spiny lobster, *Panulirus argus*, aquaculture industry. **Crustaceana**, Amsterdam, v.79, n. 9, p. 1071-1096, 2006.

- CRUZ, R. Manual de métodos de muestreo para la evaluación de las poblaciones de langosta espinosa. **FAO Documento Técnico de Pesca**, Roma, n. 399, p. 1-43, 2002.
- CRUZ, R. Two Hundred Years of Lobster Natural History and Research in Cuba Archipelago. **The Lobster Newsletter**, North Beach, v. 16, n. 1, p. 14-17, 2003.
- CRUZ, R.; ADRIANO, R. Regional and seasonal prediction of the Caribbean lobster (*Panulirus argus*) commercial catch. **Cuba. Mar. Freshwat. Res.**, Clayton South, v. 52, n. 8, p. 1633-1640, 2002.
- CRUZ, R.; BERTELSEN, R. The spiny lobster (*Panulirus argus*) in the Wider Caribbean: a review of life cycle dynamics and implications for responsible fisheries management. **Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.**, Florida, v.61, p. 433-446, 2008.
- CRUZ, R.; BORDA, C. A.; MEDINA, J. H.; AYALA, A.; BUITRAGO, D. Evaluación y ordenación del stock de langosta (*Panulirus argus*) en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Bogotá, Colombia: Ed. Ramos López Fotomecánica Ltda., Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER), 46p, 2007.
- CRUZ, R.; PHILLIPS, B. F. The artificial shelters (pesqueros) used for the spiny lobster (*Panulirus argus*) fisheries in Cuba. In: Spiny Lobster Management: fisheries and culture. PHILLIPS, B. F.; KITAKA, J. (Eds.), 2 ed., Oxford: Fishing News Books, 400p, 2000.
- CRUZ, R.; SILVA, K. C. A.; CINTRA, I. H. A. Assessment of wild lobsters in the continental shelf of Brazil. **Crustaceana**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 336-356, 2013a.
- _____. Impact of lobster size on catches and prediction of commercial spiny lobster landings in Brazil. **Crustaceana**, Amsterdam, v. 86, n. 10, p. 1274-1290, 2013b.

CURY, P.; ROY, C. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. **Canad. Fish. Aquat. Scien.** Ottawa, v.46, n. 4, p. 670-680, 1989.

DAVIS, G. E.; DODRILL, J. W. Marine parks and sanctuaries for spiny lobster fishery management. **Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.**, Florida, v. 32, p. 194-207, 1980.

DAVIS, G.E. Field evaluation of a tag for juvenile spiny lobster, *Panulirus argus*. **Trans. Am. Fish. Soc.**, Bethesda, v. 107, n.1, p. 100-103, 1978.

_____. Management recommendations for juvenile spiny lobsters, *Panulirus argus* in Biscayne National Monument, Florida. South Florida **Research Center Report**, n. 530, 1978.

DIGGLE, P. J. **Time series, a biostatistical introduction**. Oxford: Clarendon Press, 1990. 272p. 1990.

DINIZ, F. M.; MACLEAN, N.; OGAWA, M.; CINTRA, I. H. A.; BENTZEN, P. The Hypervariable Domain of the Mitochondrial Control Region in Atlantic Spiny Lobsters and Its Potential as a Marker for Investigating Phylogeographic Structuring. **Marine Biotechnology**. Newcastle, v. 7, n. 5, p. 462-473, 2005.

DINIZ, F. M.; MACLEAN, N.; OGAWA, M.; PATERSON, I. G.; BENTZEN, P. Microsatellites in the overexploited spiny lobster, *Panulirus argus*: Isolation, characterization of loci and potential for intraspecific variability studies. **Conservation Genetics**. New York, v. 6, n. 4, p. 637-641, 2005.

EGGLESTON, D.B.; LOPCIUS, R. N.; MILLER, D. L.; COBA-CETINA, L. Shelter scaling regulates survival of juvenile spiny lobster, *Panulirus argus*. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** Oldendorf, v. 62, n. 1, p.79-88, 1990.

EVANS, C. R.; LOCKWOOD, A. P. M.; EVANS, A. J.; FREE, E. Field studies of the reproductive biology of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille) and *Panulirus guttatus* (Latreille) at Bermuda. **J. Shellf. Res. Chicago**, v.14, n. 2, p. 371-381, 1995.

FAO. Species Catalogue. **FAO Fisheries Synopsis**, Roma, v. 13, n. 125, 1991

FARMER, M. W.; WARD, J. A.; LUCKHURST, B. E. Development of spiny lobster (*Panulirus argus*) phyllosoma larvae in the plankton near Bermuda. **Proc. Gulf Caribbean Fish. Inst.**, Florida v. 39, p. 289–301, 1989.

FONTELES-FILHO, A. A. A Pesca predatória de lagostas no Ceará: causas e consequências. **Bol. Téc. Cient. CEPENE/IBAMA**, Tamandaré, v. 2, n. 1, p. 107-132, 1994.

_____. Influência do recrutamento e da pluviosidade sobre a abundância das lagostas *Panulirus argus* (Latreille) e *Panulirus laeviscauda* (Latreille) (Crustacea: *Palinuridae*), no nordeste do Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 25, p. 13-31, 1986.

_____. Síntese sobre a lagosta-vermelha (*Panulirus argus*) e a lagosta-verde (*Panulirus laeviscauda*). In: HAIMOVICI, M. (Org.). **A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: levantamento de dados e avaliação crítica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 257-265, 2007.

_____. Spatial Distribution of the lobster *Panulirus argus* and *P. laeviscauda* in Northern and Northeastern Brazil in relation to the distribution of fishing effort. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 49, n. 3, p. 172-176, 1997.

_____. The state of the lobster fishery in Northeast Brazil. In: PHILLIPS, B. F.; KITTAKA, J. (Orgs.). **Spiny lobsters: fisheries and culture**. 2 ed. Oxford: Fishing News Books, p. 121-134, 2000.

FONTELES-FILHO, A. A.; MENDES, G. M. S. Fishing of juvenile lobsters, *Panulirus argus* (Latreille) and *Panulirus laeviscauda* (Latreille), in coastal areas off Ceará State, Brazil. In: **International Symposium on Utilization of Coastal Ecosystems: planning, pollution and productivity**, 1989, Rio Grande. Proceedings of the International Symposium on Utilization of Coastal Ecosystems: planning, pollution and productivity. Gráfica e Editora NBS Ltda., 1982. Porto Alegre, v. 2. p. 393-402. 1989.

FORCUCCI, D.; BUTLER, M. J.; HUNT, J. H. Population dynamics of juvenile Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*, in Florida Bay, Florida. **Bull. Mar. Sci.** Florida, v. 3, n. 54, p. 805-818, 1994.

GALVÃO, P. F.; TEIXEIRA, C. E. P. Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-a no Oceano Atlântico Equatorial baseados nos dados do sensor MODIS-AQUA. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa: INPE, 2015.

GIRALDES, B. W.; SMYTH, D. M. Recognizing *Panulirus meripurpuratus* sp. nov. (Decapoda: Palinuridae) in Brazil—Systematic and biogeographic overview of *Panulirus* species in the Atlantic Ocean. **Zootaxa**, Auckland, v. 4107, n. 3, p. 353–366, 2016.

GOLDSTEIN, J. S.; MATSUDA, H.; TAKENOUCI, T.; BUTLER, M. J. The complete development of larval Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) in culture. **J. Crusta. Bio.**, Netherlands v. 28, n. 2, p. 306-327, 2008.

GREGORY, D. R.; LABISKY, R. F.; COMBS, C. L. Reproductive dynamics of the spiny lobster *Panulirus argus* in south Florida. **Transactions of the American Fisheries Society**, United State, v. 111, n.5, p. 575-584, 1982.

HERRNKIND, W. F. Movement patterns in palinurid lobsters. **The biology and management of lobsters**. Academic Press. New York, v. 1, p. 349-407, 1980.

HERRNKIND, W. F.; BUTLER, M. J. Factors regulating postlarval settlement and juvenile microhabitat use by spiny lobsters, *Panulirus argus*. **Mar. Ecol. Prog. Ser., New York** v. 34, n. 1-2, p. 23-30, 1986.

HERRNKIND, W. F.; JERNAKOFF, P.; BUTLER, M. J. Puerulus and post-*puerulus* ecology. In: PHILLIPS, B. F.; COBB, J. S.; KITAKA, J. **Spiny lobster management**. Blacwell Scientific. Oxford, v. 213, p. 227, 1994.

HERRNKIND, W. F.; BUTLER, M. J.; TANKERSLEY, R. A. The effects of siltation on recruitment of spiny lobsters, *Panulirus argus*. **Fish. Bull.** United State, v. 86, n. 2, p. 331-338, 1988.

HOLTHUIS, L.B. Marine lobsters of the world: an annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries known to date. In: **FAO Fisheries Synopsis**, Roma, n. 125, 1991.

IGARASHI, M. A. Nota sobre registro fotográfico e observações preliminares de puerulus a juvenil de *Panulirus argus* após o assentamento em macroalgas Amansia - SP no Brasil. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 767-772, 2010.

IVO, C. T. C. **Biologia, pesca e dinâmica populacional das lagostas *Panulirus argus* e *Panulirus laevicauda* (Crustacea, Palinuridae), capturadas ao longo da plataforma continental do Brasil entre os estados do Amapá e Espírito Santo**. 1996. 279f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

_____. Novo estudo sobre o crescimento e idade da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille), em águas costeiras do Estado do Ceará (Brasil). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 15, n. 1, p. 29-32, 1975.

IVO, C. T. C.; FONTELES FILHO, A. A.; SILVA, A. C.; VIEIRA, R. H. S. F. **Cadeia produtiva da lagosta nas regiões Norte e Nordeste do Brasil**. Fortaleza: RDS Grafica e Editora, 218p, 2013.

IVO, C. T. C.; GESTEIRA, T. C. V. Potencial reprodutivo das lagostas *Panulirus argus* e *Panulirus laevicauda* (Crustacea: *Palinuridae*), no Nordeste do Brasil. **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 25, p. 1-12, 1986.

IVO, C. T. C.; NETO, J. R. Estudo comparativo sobre a pesca de lagostas com covo e rede-de-espera no estado do Ceará. **Bol. Téc. Cient. CEPENE / IBAMA**, Tamandaré, v. 4, n. 1, p. 95-134, 1996.

KANCIRUK, P.; HERRNKIND, W. F. Autumnal reproduction in the spiny lobster *Panulirus argus*, at Bimini, Bahamas. **Bull. Mar. Sci**, Florida, v. 26, n. 4, p. 417-432, 1976.

KITTAKA, J. Larval rearing. In: PHILLIPS, B. F.; COBB, J. S.; KITTAKA, J. **Spiny lobster management**. Oxford: Blackwell Scientific Press, p. 465-473, 1994.

LALANA, R.; CAPETILLO, N.; BRITO, R.; DIAZ, E.; CRUZ, R. Estudio del zoobentos asociado a *Laurencia intricata* en un área de juveniles de langosta al SE de la Isla de la Juventud. **Rev. Inv. Mar.**, Havana, v. 10, n. 3, p. 207-218, 1989.

LAUREC, J. C.; LE GUEN, A. Dynamique des populations marines exploitées. Tome I. Concepts et modèles. **Centre National pour l'Exploitation des Océans. Rapports Cientifiques et Techniques**, Brest, v.1, n. 45, p. 1-113, 1981.

LEWIS, J. B. The phyllosoma larvae of the spiny lobster *Panulirus argus*. **Bull. Mar. Scien.** Florida, v.1, n. 2, p. 89–103, 1951.

LEWIS, J. B.; MOORE, H. B.; BABIS, W. The post-larval stages of the spiny lobster *Panulirus argus*. **Bull. Mar. Scien.** Florida, v. 2, n. 1, p. 324-337, 1952.

LIPCIUS, R. N.; COBB, J.S. Ecology and fisheries biology of spiny lobsters. **Spiny Lobster Management**, Oxford: Blackwell Scientific Press, p. 1-30, 1994.

LYONS, W. G., Possible sources of Florida's spiny lobster population. **Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.**, Florida, v. 33, p. 253-266, 1980.

MARX, J.; HERRNKIND, W. Factors regulating microhabitat use by young juvenile spiny lobsters, *Panulirus argus*: food and shelter. **J. Crust. Biol.**, Leiden, v. 5, n. 4, p. 650-657, 1985.

MESQUITA, A. L. L. Aspectos cronológicos da reprodução da lagosta *Panulirus argus* (Latreille), no Estado do Ceará (Brasil). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 13, n. 2, p. 77-82, 1973.

MESQUITA, A. L. L.; GESTEIRA, T. C. V. Época de reprodução, tamanho e idade na primeira desova da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille), na costa do Estado do Ceará (Brasil). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v.15, n. 2, p. 93-96, 1975.

MOURA, S. J. C. Experiência com rede de espera em pescarias de lagosta. **Boletim Estatística da Pesca**, Recife, v. 3, n. 3, p. 3-9, 1963.

NASCIMENTO, R. C. **Impactos sócio-ambientais de marambaias para a pesca da lagosta: o caso de Ponta Grossa, Icapui-Ce.** 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

OLIVEIRA, D. G. **A pesca da lagosta sapateira *Scyllarides deceptor Holthuis, 1963* (Crustacea: Decapoda *Scyllaridae*) no sul do Brasil: subsídios ao conhecimento da biologia reprodutiva e à conservação da espécie.** 2008. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná, 2008.

PAIVA, M. P. Bicoloration in the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille). **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 5, n. 1, p. 27-28, 1965.

PAIVA, M. P. **Recursos pesqueiros estuarinos e marinhos do Brasil.** Fortaleza: UFC edições, 286p, 1997.

PAIVA, M. P. Sobre a muda da lagosta *Panulirus argus* (LATR.) no Ceará. **Revista Nacional da Pesca**, São Paulo, v. 2, n. 8, p. 13-14, 1961.

PAIVA, M. P.; COSTA, R. S. Comportamento biológico da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille). **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 1-6, 1968.

_____. Tamanhos de fêmeas de lagostas em reprodução nas águas costeiras do Ceará. **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 53-56, 1963.

PAIVA, M. P.; SILVA, A. B. Sobre o número de ovos da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille). **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 2, n. 1, p. 17-19, 1962

PHILLIPS, B. F.; PEARCE, A. F.; LITCHFIELD, R.; GUZMAN DEL PROO, S. A. Spiny lobster catches and the ocean environment. In: PHILLIPS, B. F.; COBB, J. S.; KITTAKA, J. **Spiny lobster management.** Oxford: Blackwell Scientific Press, p. 321-333, Capítulo 17, 2000.

PHILLIPS, B. F.; BOOTH, J. D.; COBB, J. S.; JEFFS, A. G.; MCWILLIAM, P. Larval and postlarval ecology. *In: Lobsters: biology, managements, aquaculture and fisheries*. Oxford: Fishing News Books, p. 231-262. 2006.

PHILLIPS, B.F. Prediction of commercial catches of the western rock lobster *Panulirus cygnus*. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** Canada, v. 43, n. 11, p. 2126-2130, 1986.

PHILLIPS, B. F.; COBB, J.S.; GEORGE, C. R. W. General biology. *In: The Biology and Management of Lobsters*, New York: Academic Press, v. 2, p. 1-82, 1980.

ROLIM, A. E.; ROCHA, C. A. S. Biometria de lagostas jovens do gênero *Panulirus Gray*. **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p. 91-97, 1972.

SALISBURY, J.; VANDEMARK, D.; CAMPBELL, J.; HUNT, C.; WISSER, D.; REUL, N.; CHAPRON, B. Spatial and temporal coherence between Amazon River discharge, salinity, and light absorption by colored organic carbon in western tropical Atlantic surface waters. **J. Geophys. Res.:Oceans**, New Hampshire, v. 116, n. C7, 2011.

SANTANA, J. V. M.; NEVES, S. D. S.; SARAIVA, S. Z. R.; ADAMS, C.; CRUZ, R. Current management and externalities in lobster fisheries exploitation on the continental shelf of Ceará, Brazil. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 05-18, 2015.

SANTOS, E. P.; COSTA, R. S.; MOURA, S. J. C. Growth of the spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille): quantitative aspect. **Arq. Est. Biol. Mar.**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 41-44, 1964.

SANTOS, E. P.; IVO, C. T. C. Crescimento e idade da lagosta *Panulirus laevicauda* (Latreille), em águas costeiras do Estado do Ceará (Brasil). **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 19-23, 1973.

SARVER, S. K.; FRESHWATER, D. W.; WALSH, P. J. The occurrence of the provisional Brazilian subspecies of spiny lobster (*Panulirus argus westonii*) in

Florida waters. **FISHERY BULLETIN-NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION**, Florida, v. 98, n. 4, p. 870-873, 2000.

SILBERMAN, J. D.; WALSH, P. J. Population genetics of the spiny lobster *Panulirus argus*. **Bull. Mar. Sci.**, Florida, n. 54, p. 1084, 1994.

SILVA, K. C. A.; CINTRA, I. H. A.; RAMOS-PORTO, M.; VIANA, G. F. S. Lagostas capturadas durante pescarias experimentais para o Programa REVIZEE/Norte (*Crustacea, Nephropoidea, Eryonoidea, Palinuroidea*). **Bol. Téc. Cient. CEPNOR**, Belém, v. 3, n. 1, p. 21-35, 2003.

SILVA, K. C. A.; BOTELHO, K. B.; CINTRA, I. H. A.; ARAGÃO, J. A. N. Parâmetros reprodutivos da lagosta-vermelha *Panulirus argus* (Latreille, 1804), na costa norte do Brasil. **Bol. Téc. Cient. CEPNOR**, Belém, v. 8, n. 1, p. 27-39, 2008.

SILVA, K. C. A.; FRANSEN, C. H. J. M.; RAMOS-PORTO, M.; PAIVA, K. S.; CINTRA, I. H. A.; CRUZ, R. Report of *Scyllarus chacei* Holthuis, 1960 (*Decapoda, Scyllaridae*) in Amapá State continental shelf of Brazil. **Crustaceana**, Amsterdam, v. 85, n. 10, p. 1171-1177, 2012.

SILVA, K. C. A.; CRUZ, R.; CINTRA, I. H. A.; ABRUNHOSA, F. A. Structure and diversity of the lobster community on the Amazon continental shelf. **Crustaceana**, Amsterdam, v. 86, n. 9, p. 1084-1102, 2013.

SMITH, K.N.; HERRNKIND, W.F. Predation on juvenile spiny lobsters, *Panulirus argus*: Influence of size, shelter, and activity period. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, Christchurch, v.157, p. 3-18, 1992.

SOARES, C. N. C.; CAVALCANTE, P. L. P. Caribbean spiny lobster (*Panulirus argus*) and smoothtail spiny lobster (*Panulirus laevicauda*) reproductive dynamics on the Brazilian northeastern coast. **FAO, Fish. Rep.** Roma, n. 327, p. 200-217, 1985.

SUTCLIFE, W.H. Further observations of the breeding and migration of the Bermuda spiny lobster, *Panulirus argus*. **J. Mar. Res.**, New Haven, v. 12, n. 2, p. 173-183, 1953.

TESCHIMA, M. M.; FARIA JÚNIOR, E.; FREIRE, A. S. New records of marine mantis shrimp, crabs and lobsters (Crustacea) from Santa Catarina State, southern Brazil (27°15'S 48°25'W). **Mar. Bio. Rec.**, Cambridge, v. 5, p. e100, 2012.

TIETENBERG, T.; LEWIS, L. **Environmental and Natural Resource Economics**. 10. ed. New Jersey: Pearson, 582p, 2014.

Tourinho, J. L.; Solé-Cava, A. M.; Lazoski, C. Cryptic species within the commercially most important lobster in the tropical Atlantic, the spiny lobster *Panulirus argus*. **Mar. Bio.**, Estados Unidos, v. 159, n. 9, p. 1897–1906. 2012

WITHAM, R.; INGLE, R.M.; SIMS JR, H. W. Notes on postlarvae of *Panulirus argus*. **Q. J. Fla. Acad. Sci.**, Florida, v. 27, p. 289-297, 1964.