



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

HELENY NORONHA DAVID

**RESPOSTAS DO GASTRÓPODE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) ÀS
VARIAÇÕES AMBIENTAIS PREVISTAS PARA MANGUEZAIS ESTUARINOS NO
CEARÁ**

**FORTALEZA-CE
2019**

HELENY NORONHA DAVID

**RESPOSTAS DO GASTRÓPODE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) ÀS
VARIAÇÕES AMBIENTAIS PREVISTAS PARA MANGUEZAIS ESTUARINOS NO
CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Linha de pesquisa: Prospecção de Recursos Marinhos

Orientadora: Prof^a. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Rafaela Camargo Maia

FORTALEZA-CE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D273r David, Heleny Noronha.
RESPOSTAS DO GASTRÓPODE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) ÀS
VARIAÇÕES AMBIENTAIS PREVISTAS PARA MANGUEZAIS ESTUARINOS NO CEARÁ /
Heleny Noronha David. – 2019.
62 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.

Coorientação: Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia.

1. Molusco. 2. Bioindicador. 3. Mudanças climáticas. I. Título.

CDD 551.46

HELENY NORONHA DAVID

**RESPOSTAS DO GASTRÓPODE *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) ÀS
VARIAÇÕES AMBIENTAIS PREVISTAS PARA MANGUEZAIS ESTUARINOS NO
CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará – UFC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Linha de pesquisa: Prospecção de Recursos Marinhos

Orientadora: Prof^a Dr^a Cristina de Almeida Rocha-Barreira

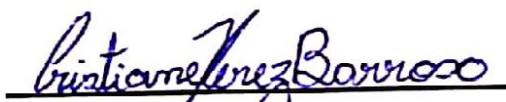
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Rafaela Camargo Maia

Aprovada em 08/02/2019

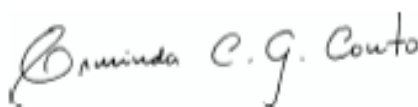
BANCA EXAMINADORA



Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Dra. Cristiane Xerez Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Dra. Erminda da Conceição Guerreiro Couto
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

Resumo

Littoraria angulifera (Gastropoda: Littorinidae) é um gastrópode de manguezal que apresenta potencial para funcionar como indicador ecológico, já que pode responder às condições ambientais por meio de alterações no formato ou tamanho da sua concha. Algumas espécies animais têm sido utilizadas como bioindicadoras de mudanças climáticas, porém, a maior parte dos estudos realizados nos últimos anos utilizou organismos pertencentes a ecossistemas terrestres. Assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar os efeitos causados pelas mudanças climáticas em ecossistemas estuarinos brasileiros, utilizando *L. angulifera* como bioindicador. Para efeito deste estudo, foram utilizados os dados de amostragens realizadas de 2012 até o primeiro semestre de 2018, em Acaraú, Ceará, sendo cada período replicado duas vezes, em marés de sizígia, ao final das estações seca e chuvosa. Foram selecionados 3 sítios no hábitat vegetado delimitados por uma região contígua de 40m x 50m, onde cada sítio amostral apresenta distância de aproximadamente 100m entre si. Foram coletados, manualmente, 50 indivíduos de variados tamanhos nas árvores de cada sítio, estando os animais, no máximo, a uma altura de 1,30 m do solo. As temperaturas do ar, da água e do solo, umidade relativa do ar, salinidade da água e pluviosidade da região foram registradas a cada amostragem. Em laboratório, foram feitas medições de altura e largura da concha e pesagem dos organismos (peso úmido). Os dados biométricos e as variáveis ambientais coletados em Acaraú, Ceará, foram comparados temporalmente. Adicionalmente, a fim de testar os efeitos da temperatura sobre os gastrópodes, foi realizado um experimento em laboratório para simular os dois cenários de mudanças climáticas previstos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), considerando elevações da temperatura ambiente nas faixas de 32°C - 34°C e 35°C - 37°C. A altura, largura e peso da concha se correlacionaram positivamente e de forma significativa com a pluviosidade, indicando que, quanto maior a incidência de chuvas, os litorinídeos tendem a apresentar conchas maiores e mais pesadas. Em ambiente experimental, os indivíduos de *L. angulifera* apresentaram alta mortalidade tanto na simulação do Cenário Otimista, quanto no Cenário Pessimista. Os animais apresentaram também diferentes comportamentos termorregulatórios em resposta à temperatura. Quando submetidos à elevação térmica, nos dois cenários, os organismos deslocaram-se para baixo de folhas e galhos ou concentravam-se mais próximo à base do aquário onde a umidade era maior. Tais comportamentos podem ser descritos como “Seleção de Refúgio Térmico”, o qual junto com a “retração do pé”, foram os principais comportamentos termorregulatórios observados nessa espécie durante o experimento. De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que *L. angulifera* é um bom indicador de mudanças ambientais, já que o tamanho de sua concha sofre variações em consequência das condições do ambiente e os animais se mostraram sensíveis ao aumento de temperatura previsto pelo IPCC (2013), já que houve alta mortalidade e incidência de comportamentos termorregulatórios.

Palavras-chave: Molusco. Bioindicador. Mudanças climáticas.

Abstract

Littoraria angulifera (Gastropoda: Littorinidae) is a mangrove gastropod that has the potential to function as an ecological indicator, since it can respond to environmental conditions through changes in the shape or size of its shell. Some animal species have been used as bioindicators of climate change, however, most of the studies carried out in recent years have used organisms belonging to terrestrial ecosystems. The objective of this research is to evaluate the effects caused by climate changes on Brazilian estuarine ecosystems, using *L. angulifera* as a bioindicator. For the purpose of this study, the sampling data from 2012 until the first semester of 2018 were used in Acaraú, Ceará, and each period was replicated twice, in low tides, at the end of the dry and rainy seasons. Three sites were selected in the vegetated habitat delimited by a contiguous region of 40m x 50m, where each sampling site has a distance of approximately 100m between them. A total of 50 individuals of varying sizes were collected manually from the trees at each site, at a maximum height of 1.30 m from the soil. Air, water and soil temperatures, relative air humidity, water salinity and rainfall were recorded at each sampling. In laboratory, measurements were made of height and width of the shell and weighing of the organisms (wet weight). The biometric data and the environmental variables collected in Acaraú, Ceará, were compared temporally. In addition, to test the effects of the temperature on the gastropods, a laboratory experiment was conducted to simulate the two scenarios of climate change predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), considering ambient temperature increases between 32°C - 34°C and 35 ° C-37 ° C. The height, width and weight of the shell correlated positively and significantly with rainfall, indicating that with the higher incidence of rainfall, the littorinids tend to have larger and heavier shells. In the experimental setting, the individuals of *L. angulifera* presented high mortality both in the Optimistic Scenario simulation and in the Pessimistic Scenario. The animals also presented different thermoregulatory behaviors in response to the temperature. When submitted to thermal elevation, in both scenarios, the organisms shifted down from leaves and branches or were concentrated closer to the base of the aquarium where the humidity was higher. These behaviors can be described as "Thermal Refuge Selection", which together with "foot retraction" were the main thermoregulatory behaviors which was observed in this specie during the experiment. According to the results presented, it is concluded that *L. angulifera* is a good indicator of environmental changes, since the size of its shell changes as a result of the environmental conditions and the animals were sensitive to the temperature increase predicted by the IPCC (2013), since there was a high mortality and incidence of thermoregulatory behaviors.

Keywords: Mollusc. Bioindicator. Climate change.

Dedico esse trabalho à Deus que foi minha força maior e que com sua infinita bondade me permitiu chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer às minhas orientadoras: Cristina Rocha-Barreira e Rafaela Camargo Maia, por esses anos de convívio que para mim foram de muito crescimento e aprendizagem. Não tenho nem palavras para descrever o quanto as respeito e admiro como profissionais e como essas mulheres incríveis que vocês são! As duas são minha fonte inesgotável de inspiração. Obrigada por me fazerem amar ainda mais o mar, os manguezais e os moluscos. Amo vocês!

À Cristiane Xerez pela disponibilidade em participar das bancas de qualificação e defesa, à professora Helena Matthews-Cascon pelas valiosas contribuições na qualificação e à professora Erminda Couto por aceitar compor a banca da minha defesa. É uma honra para mim ter vocês como avaliadoras do meu trabalho e suas contribuições são muito importantes para a melhoria da minha pesquisa. Meu muito obrigada também aos meus amigos doutores Kcrishna Barros e Alisson Matos, por terem aceitado ser suplentes nas bancas.

Ao meu amorzinho Bruno Carneiro, por ter me ajudado durante todo esse processo. Obrigada pela ajuda com meu trabalho de campo e de laboratório, principalmente no meu experimento. Sem você ao meu lado eu não conseguiria. Te amo muito!

Ao meu amado paizinho Jurandi David, que durante o experimento me acompanhou todos os dias até o Labomar pela noite para me fazer companhia. Obrigada pai, por sempre fazer tudo o que pode para me motivar e me ajudar na realização dos meus sonhos. O senhor é quem me dá forças para seguir em frente e tudo o que faço é pensando no senhor.

Aos colegas do Laboratório de Zoobentos do Labomar/UFC por toda a ajuda no desenvolvimento do meu trabalho. Principalmente ao super biólogo do laboratório que sabe de tudo e está sempre disposto a ajudar: Wilson Franklin-Junior. Muito obrigada pela ajuda com toda a parte técnica e com as sugestões ao longo do trabalho. Igualmente gostaria de agradecer à Mariuza Menezes que me auxiliou muito, tanto nas coletas, quanto durante a execução do trabalho em laboratório. Agradeço

também à Ravena Nogueira e Lucas Brito, que me ajudaram bastante observando os meus bichinhos nas estufas em algumas das vezes em que eu não pude ir.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia de Manguezais do IFCE *Campus* Acaraú, que desde sempre me deram a maior força nas coletas e com a medição das minhas conchas. Principalmente à minha amiga Mayane Rocha, que nunca me deixou atolar sozinha no mangue e à queridíssima Veruska Amorim, que sempre torna esses momentos muito mais alegres. Vocês são demais!

À minha *bff* Lilian Sanders, por sempre ajudar em tudo que preciso (até mesmo trazendo o café pra minha banca na qualificação e aquele bolo delicioso na defesa). Obrigada amiga, por suportar todas as minhas lamentações e por estar ao meu lado em todas as conquistas mais importantes na minha vida.

Ao IFCE *Campus* Acaraú por ter fornecido o transporte para as minhas coletas em Acaraú e por todo o suporte necessário à minha pesquisa.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado concedida para a realização deste trabalho.

“Continue a nadar, continue a nadar”

Dory

Lista de ilustrações

Figura 1: Gráfico representando a média de aumento de temperatura para o Brasil projetados pelo IPCC, nos cenários otimista e pessimista.....	19
Figura 2: Área escolhida para o estudo localizada no estuário do Rio Acaraú, em Acaraú, Ceará, Brasil.....	24
Figura 3: Esquema de organização espacial nos sítios de amostragem – Fonte: Bernardino <i>et al.</i> (2015)	26
Figura 4: Desenho esquemático indicando as medições realizadas, LC= largura da concha, AC= altura da concha. Fonte: Bernardino <i>et al.</i> (2015)	27
Figura 5: Representação esquemática de como se deu o experimento em laboratório	28
Figura 6: Incidência de chuvas (total acumulado mensal) e salinidade média nos meses de coleta (outubro de 2012 a março de 2018) no estuário do rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	31
Figura 7: Pluviosidade (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	32
Figura 8: Temperatura da água (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	33
Figura 9: Temperatura do ar (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	34
Figura 10: Temperatura do solo (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	35
Figura 11: Umidade do ar (%) (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	36
Figura 12: Altura da concha de <i>L. angulifera</i> (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	37

Figura 13: Largura da concha de <i>L. angulifera</i> (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	38
Figura 14: Peso da concha de <i>L. angulifera</i> (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil	39
Figura 15: Altura da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas	40
Figura 16: Largura da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas	41
Figura 17: Peso da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas	42
Figura 18: Ocorrência de comportamentos termorregulatórios durante experimento. EL = Estufa ligada, ED = Estufa desligada, FE = Fora da estufa, RP = Retração do pé, SRT = Seleção de refúgio térmico	45
Figura 19: Comportamentos observados durante experimento até o momento. A e B, comportamento de <i>towering</i> ; C, D e E, agregações de animais no vidro do aquário; F, G, H, I, J, L e M, animais embaixo de folhas e galhos (seleção de refúgio térmico), K e N, <i>standing</i>	46
Figura 20: Mortalidade de <i>Littoraria angulifera</i> (média \pm erro padrão) durante o experimento. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa. As letras representam diferenças significativas	47
Figura 21: Mortalidade de <i>L. angulifera</i> por semana durante simulação do cenário otimista. S = semana; EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada; FE = Fora da estufa.....	48
Figura 22: Mortalidade de <i>L. angulifera</i> por semana durante simulação do cenário pessimista. S = semana; EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada; FE = Fora da estufa	49
Figura 23: Altura da concha de <i>L. angulifera</i> (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa	50
Figura 24: Largura da concha de <i>L. angulifera</i> (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições	

de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa51

Figura 25: Peso da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa52

Lista de tabelas

Tabela 1: Períodos de chuvas e secas nas regiões brasileiras	25
Tabela 2: Comportamentos termorregulatórios que podem ser observados por <i>Littoraria angulifera</i> (Adaptado de Ng <i>et al.</i> , 2017)	29
Tabela 3: Resultado da análise de correlação entre altura, largura e peso da concha com dados ambientais de pluviosidade, temperatura da água, ar, solo e umidade.....	43
Tabela 4: Resultado da análise de correlação entre os parâmetros ambientais. Os valores em negrito representam resultados significativos ($p < 0,05$)	43

Lista de abreviaturas e siglas

AC = Altura da concha

ED = Estufa desligada

EL = Estufa ligada

FE = Fora da estufa

FUNCEME = Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change (Tradução: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

LC = Largura da concha

RP = Retração do pé

S = Semana

SRT = Seleção de refúgio térmico

Sumário

1. Introdução.....	17
1. Hipótese científica	22
2. Objetivos.....	23
2.1. Objetivo geral	23
2.2. Objetivos específicos	23
3. Material e métodos	24
3.1. Área de estudo.....	24
3.2. Coleta de dados	25
3.3. Procedimento de campo	25
3.4. Morfometria da concha.....	26
3.5. Experimento em laboratório: Efeito da elevação da temperatura no comportamento e sobrevivência de <i>L. angulifera</i>	27
3.6. Análises estatísticas.....	29
4. Resultados.....	31
4.1. Monitoramento no manguezal do Rio Acaraú, em Acaraú, Ceará	31
4.1.1. Variáveis abióticas observadas.....	31
4.1.2. Monitoramento de <i>Littoraria angulifera</i> no Estuário do Rio Acaraú, Ceará 36	
4.1.3. Interação entre variáveis bióticas e ambientais no manguezal do Rio Acaraú, Ceará.....	42
4.2. Experimento: Efeitos da elevação da temperatura no comportamento e sobrevivência de <i>Littoraria angulifera</i>	44
5. Discussão	53
6. Conclusão.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

1. Introdução

Manguezais são ecossistemas costeiros de transição encontrados em zonas entremarés de regiões de clima tropical, podendo estar localizados na foz de rios e estuários, onde há mistura de águas doce e salina (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; SOARES *et al.*, 2017). Esses ambientes ocorrem em substratos lamosos, protegidos da ação das ondas e sujeitos à grandes amplitudes de marés, com solo rico em matéria orgânica e vegetação lenhosa específica adaptada às flutuações de salinidade e ao sedimento lodoso e pobre em oxigênio (SOARES *et al.*, 2017; THIERS *et al.*, 2016; DUKE, 2017).

O ecossistema manguezal possui grande importância ecológica, uma vez que é um ambiente rico em nutrientes advindos da matéria orgânica, apresentando altos índices de produtividade, sendo considerado um berçário natural, já que é favorável para a reprodução e o desenvolvimento de diversas espécies residentes e migratórias (THIERS *et al.*, 2016). Além disso, os manguezais exercem grande importância na ciclagem de nutrientes e são essenciais para a estabilização da geomorfologia costeira, uma vez que atuam na retenção de sedimentos, evitando assim a erosão (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; THIERS *et al.*, 2016).

A grande quantidade de animais existentes no manguezal, tais como moluscos, crustáceos e peixes, proporcionam importantes recursos pesqueiros que movem a economia das populações que vivem em regiões ribeirinhas (CASAL; SOUTO, 2012). Sabe-se, portanto, que esse ecossistema possui elevada importância para a manutenção das populações que vivem em zonas costeiras, uma vez que a prática da pesca gera emprego e renda para essas pessoas (VASQUES *et al.*, 2011).

Apesar de sua importância, esses ambientes vêm sendo continuamente degradados pelos impactos antrópicos, em decorrência da forte pressão relacionada à exploração de seus recursos naturais e impactos provenientes da urbanização, como o lançamento de gases agravadores do efeito estufa (CUNHA-LIGNON *et al.*, 2009). Esses impactos podem afetar de maneira negativa a qualidade ambiental, podendo provocar distúrbios na biota, de maneira que algumas espécies podem estar ausentes, por não conseguirem adaptar-se às condições ambientais alteradas,

causando problemas nas relações ecológicas naturais (LIJTEROFF; LIMA; PRIERI, 2008).

Entre os impactos que vêm recebendo mais atenção ultimamente, estão as mudanças climáticas. Os efeitos dessas mudanças, como o aumento da temperatura, têm causado diversos danos sobre os sistemas humanos e naturais, com evidências de que esses efeitos são mais intensos e abrangentes no meio natural, onde os principais impactos se referem a erosão costeira, alterações no nível do mar, derretimentos de geleiras, queimadas, entre outros (IPCC, 2013).

A temperatura média global está aumentando desde o último século e a tendência é que esse fenômeno continue a se agravar devido aos constantes lançamentos de gases intensificadores do efeito estufa na atmosfera (MARENGO, 2006). As atividades humanas tais como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento são consideradas fatores que exercem grande importância sobre o aquecimento global (IPCC, 2013).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é um painel científico, que desde 1988, ano de sua criação, conta com uma equipe multidisciplinar que se dedica a estudos voltados para a avaliação do clima no planeta e traçar cenários futuros relacionados às mudanças climáticas. O IPCC tem publicado relatórios científicos desde 1990, seguido de edições publicadas em 1995, 2001, 2007 e tendo seu relatório mais recente lançado em 2013, o qual prevê dois cenários futuros para o aumento de temperatura no Brasil até 2100: um otimista, que levaria a um aumento de 1°C a 3°C na temperatura e um pessimista, com previsão de aumento de 4°C a 6°C (Figura 1).

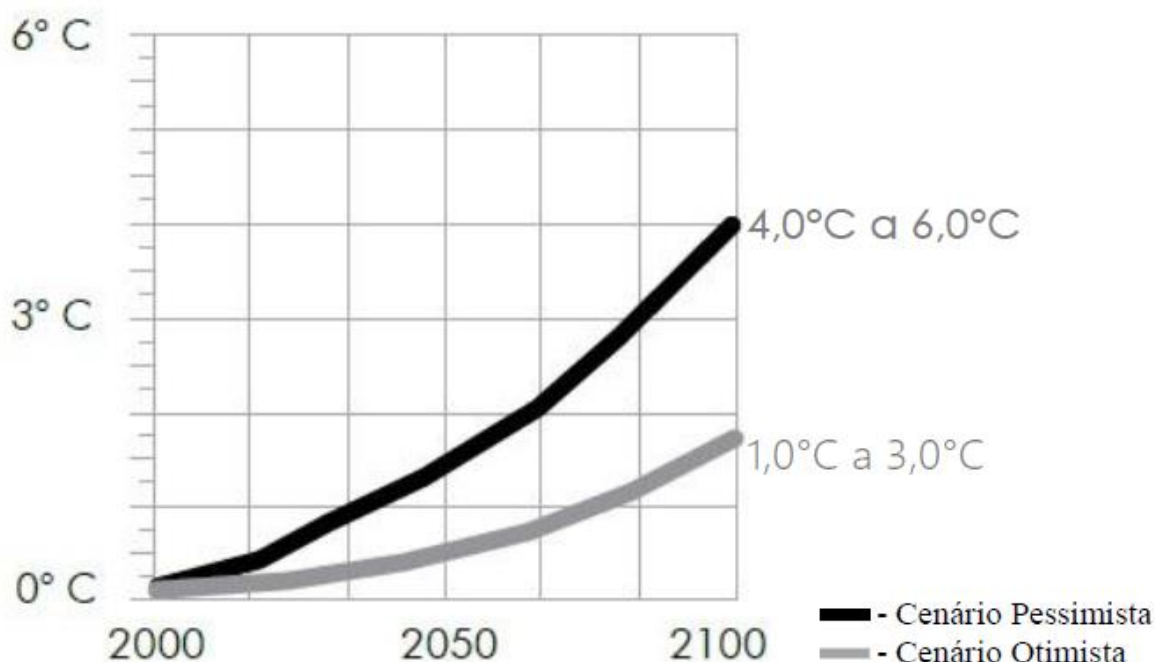


Figura 1: Gráfico representando a média de aumento de temperatura para o Brasil projetados pelo IPCC, nos cenários otimista e pessimista (Fonte: INPE, 2011).

De acordo com Bernardino *et al.* (2016), a maioria dos estudos em estuários brasileiros foca principalmente na descrição de padrões de distribuição e estrutura das comunidades ou em suas relações com os efeitos da poluição. Estudos de longo prazo, com duração de mais de dois anos têm uma maior capacidade de detectar as alterações nas comunidades em resposta às mudanças na dinâmica estuarina (BERNARDINO *et al.*, 2016). Dessa forma, a Rede de Monitoramento de Hábitats Bentônicos Costeiros – ReBentos, foi criada com o intuito de identificar mudanças ambientais nos ecossistemas costeiros brasileiros e promover sua conservação e gerenciamento a longo prazo. O Grupo de Trabalho “Estuários” conta com os esforços de diversos pesquisadores e instituições ao longo de 8.000km de costa. O objetivo principal da ReBentos Estuários é utilizar a fauna estuarina bentônica como modelo ecológico para avaliar as mudanças climáticas (BERNARDINO *et al.*, 2016).

Diversos organismos estão modificando sua distribuição no globo em resposta às mudanças climáticas, alterando também padrões relacionados à

migração, atividades sazonais, abundância e interações entre indivíduos da mesma espécie (IPCC, 2013). Entre eles, estão os organismos bentônicos, que são frequentemente utilizados como bioindicadores de mudanças climáticas (BERNARDINO *et al.*, 2016), já que podem responder de maneira rápida às alterações no ambiente. Isso por que essas modificações podem fazer com que ocorram alterações na sua morfologia, no número de indivíduos e na composição das espécies (BAGLIANO, 2012). Desta forma, estes animais fornecem importantes informações sobre as mudanças que ocorrem no ambiente, atuando como uma importante ferramenta no monitoramento destas áreas.

Entre os organismos bentônicos, estão os moluscos gastrópodes da família Littorinidae, que são amplamente distribuídos em regiões tropicais e temperadas do mundo inteiro, desempenhando um papel significativo na ecologia das comunidades marinhas (NG *et al.*, 2011). A espécie *Littoraria angulifera* (LAMARCK, 1822) habita zonas de supralitoral dos manguezais do Atlântico tropical e do Caribe, onde vive em raízes e troncos de árvores de mangue e apresenta potencial para funcionar como indicador ecológico, já que pode responder às condições ambientais através de alterações no formato ou tamanho da sua concha (MELO *et al.*, 2012).

Por serem organismos de fácil coleta, abundantes e amplamente distribuídos, litorinídeos são considerados excelentes modelos ecológicos para estudos da região entremarés, inclusive para estudos sobre mudanças climáticas, já que podem modificar a morfologia da concha ou seu comportamento (NG *et al.*, 2011; CHAPPERON; SEURONT, 2011). De acordo com Merkt e Ellison (1998), a morfologia da concha de *L. angulifera* pode variar em diferentes regiões geográficas, podendo esta variação ser resultante das condições e características ambientais do hábitat, como o clima local, sendo a temperatura um fator que pode influenciar no tamanho e morfologia da concha desses indivíduos.

Esses animais possuem diversos comportamentos de termorregulação para minimizar os efeitos das mudanças de temperatura no ambiente, os quais podem ser do tipo “*flight*”, quando os animais procuram refúgio em ambientes de temperatura mais amena (como por exemplo, se abrigar embaixo de raízes, troncos ou folhas) ou do tipo “*fight*” quando os indivíduos modificam seus próprios ambientes, através de alterações comportamentais, para minimizar as implicações das temperaturas extremas (NG *et al.*, 2017). A resposta de luta ou fuga (*fight or flight*) foi descrita pela

primeira vez por Cannon (1929), onde seus estudos tinham como propósito verificar de que maneira os organismos poderiam reagir a situações desfavoráveis.

Poucos trabalhos têm incorporado o comportamento animal em estudos de predições de mudanças climáticas e embora alguns modelos preditivos já tenham sido aplicados para outros organismos marinhos, as potenciais consequências do aumento de temperatura para caramujos não foram suficientemente estudadas, uma vez que há poucos estudos publicados a respeito desse tema (NG *et al.*, 2017).

Litorínídeos são bons indicadores da qualidade ambiental, uma vez que respondem plasticamente às variações de temperatura, precipitação e incidência de luz solar, já que estes fatores são limitantes na distribuição dos organismos no ambiente, podendo até extinguir espécies mais sensíveis à essas variações ambientais (BAGLIANO, 2012).

Dessa forma, esses organismos podem ser usados como uma importante ferramenta para avaliar impactos no meio ambiente. Atalah e Crowe (2012) utilizaram a espécie *Littorina littorea* (LAMARCK, 1758) como bioindicador de áreas contaminadas com elevada concentração de nutrientes provenientes de efluentes, o que demonstrou que esses animais são bons indicadores de poluição. Segundo Ribeiro (2013), *L. angulifera* é considerada uma espécie sentinela para detectar contaminação por tributilestanho (TBT), uma vez que pode apresentar altos níveis de imposex em ambientes contaminados. Além disso, moluscos da família Littorinidae também têm sido utilizados como bioindicadores de mudanças climáticas uma vez que apresentam uma vasta quantidade de comportamentos termorreguladores (CHAPPERON; SEURONT 2010; NG *et al.*, 2017).

Tendo em vista que litorínídeos são potenciais bioindicadores de alterações no ambiente, este trabalho é de grande importância para avaliar os efeitos das mudanças climáticas que afetam *L. angulifera*, o que pode auxiliar no diagnóstico dos efeitos das mudanças climáticas em ambientes estuarinos no futuro, facilitando o entendimento dos principais agentes que regulam a dinâmica estuarina, ou seja, mudanças na pluviosidade e temperatura (e outras covariáveis) que afetam a distribuição de moluscos bioindicadores.

1. Hipótese científica

O gastrópode *Littoraria angulifera* é uma espécie indicadora das mudanças climáticas que afetam o ecossistema manguezal, respondendo a essas variações por meio de mudanças no tamanho e peso de sua concha, mortalidade e comportamentos termorregulatórios.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos da temperatura em manguezais, utilizando o gastrópode *Littoraria angulifera* como bioindicador.

2.2. Objetivos específicos

- Relacionar a distribuição de tamanhos da concha com fatores abióticos em campo, tais como, temperatura, salinidade e pluviosidade;
- Verificar os efeitos da elevação da temperatura em mesocosmos no comportamento e sobrevivência de *L. angulifera*.

3. Material e métodos

3.1. Área de estudo

A área escolhida para o desenvolvimento deste estudo está localizada na cidade de Acaraú, no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil e está expressa no mapa da figura 2.



Figura 2: Área escolhida para o estudo localizada no estuário do Rio Acaraú, em Acaraú, Ceará, Brasil.

Na área o clima é caracterizado como tropical quente semiárido, e, de acordo com dados obtidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, apresenta temperatura média de 29°C e pluviosidade total aproximada de 1.100 mm ao ano. A área está inserida na ecorregião Nordeste, a qual está localizada entre os limites do Estado do Piauí e do Sergipe, e é caracterizada por ter seus estuários dominados pelo ecossistema manguezal, com grande influência dos processos que ocorrem no ambiente fluvial-marinho. Nessa região há baixos índices de precipitação, se comparada às outras ecorregiões. Devido a isso, seus estuários

apresentam altos valores de salinidade e alta produtividade, em decorrência das altas temperaturas e alta insolação (SPALDING *et al.*, 2007; MAIA *et al.*, 2018).

3.2. Coleta de dados

Os dados que subsidiam essa pesquisa foram coletados de outubro de 2012 à março de 2018, com o apoio do IFCE *Campus Acaraú* e Laboratório de Ecologia de Manguezais, que forneceu o transporte e materiais necessários para a coleta dos organismos.

3.3. Procedimento de campo

Foram utilizados dados de amostragens realizadas desde o segundo semestre de 2012 até o primeiro semestre de 2018, sendo cada período replicado 2 vezes, em marés de sizígia, ao final das estações com dominância de chuvas e secas. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro, março, outubro e novembro, de acordo com o cronograma do Grupo de Trabalho Estuários da ReBentos (BERNARDINO *et al.*, 2015) (Tabela 1).

Tabela 1: Períodos com dominância de chuvas e secas nas regiões brasileiras

Região	Chuva	Seca
Norte (incluindo MA, PI e CE)	Fev-Mar	Out-Nov
Nordeste (RN a BA)	Jul-Ago	Jan-Mar
Sudeste	Fev-Mar	Set-Out
Sul	Jul-Ago	Fev-Mar

Em cada local de coleta, foram selecionados três sítios ao longo do manguezal, paralelos à margem do rio, excluindo-se os 10m referentes à zona de borda, delimitados por uma região contígua de 40m x 50m, onde cada sítio amostral possui distância de aproximadamente 100m entre si (Figura 3). Foram coletados, manualmente, em cada um dos sítios, 50 indivíduos de variados tamanhos em árvores, onde os animais deveriam estar, no máximo, a uma altura de 1,30 m do solo.

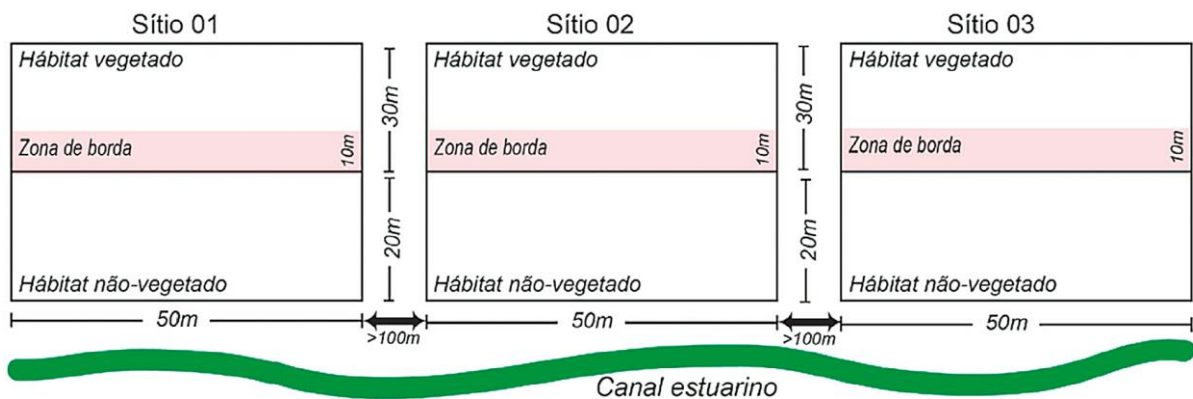


Figura 3: Esquema de organização espacial nos sítios de amostragem – Fonte: Bernardino *et al.* (2015)

Foram registradas a cada coleta as temperaturas do ar, do solo e da água e umidade relativa do ar com auxílio de um termohigrômetro e verificada a salinidade da água estuarina com um refratômetro. Todos esses dados foram replicados três vezes. Também foram obtidos os dados de pluviometria através da FUNCEME.

3.4. Morfometria da concha

Após coleta dos animais, em laboratório, com auxílio de paquímetro (precisão = 0,01 mm), foram feitas medições de altura e largura da concha (Figura 4). A seguir, os organismos foram pesados em balança de precisão (precisão = 0,001 g) para obtenção do peso úmido. Posteriormente, os animais foram conservados em álcool etílico 70%. As metodologias de campo e de laboratório são baseadas no protocolo da ReBentos (BERNARDINO *et al.*, 2015).

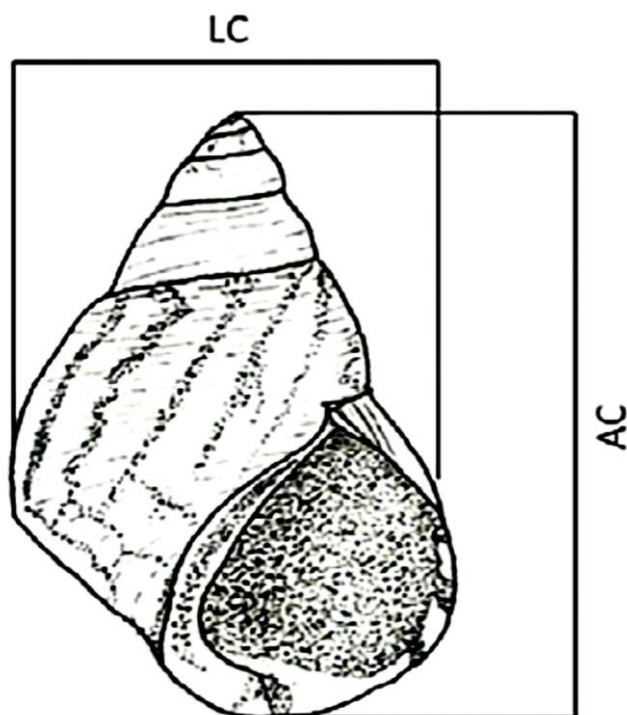


Figura 4: Desenho esquemático indicando as medições realizadas, LC= largura da concha, AC= altura da concha. Fonte: Bernardino *et al.* (2015).

3.5. Experimento em laboratório: Efeito da elevação da temperatura no comportamento e sobrevivência de *L. angulifera*

Para testar os efeitos da temperatura sobre os gastrópodes, foi realizado um experimento em laboratório. Os animais foram coletados no estuário do Rio Pacoti, na Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, Eusébio - CE. No momento da primeira coleta, a temperatura do ar foi de 31°C e a salinidade registrada foi de 20. Assim, para efeito da realização do experimento, estes valores foram considerados como referência do ambiente atual para os dois cenários.

No início do experimento, 90 indivíduos foram medidos e pesados e posteriormente distribuídos em grupos de dez em nove aquários contendo galhos e folhas do manguezal do Pacoti. Foram colocados três aquários dentro de uma estufa ligada (Tratamento 1) e seis aquários controle, sendo três dentro de uma estufa desligada (Tratamento 2) e três fora das estufas (Tratamento 3), para verificar se haveria variação no comportamento, sobrevivência, tamanho e peso dos animais. (Figura 5). Esse procedimento foi realizado para cada cenário.

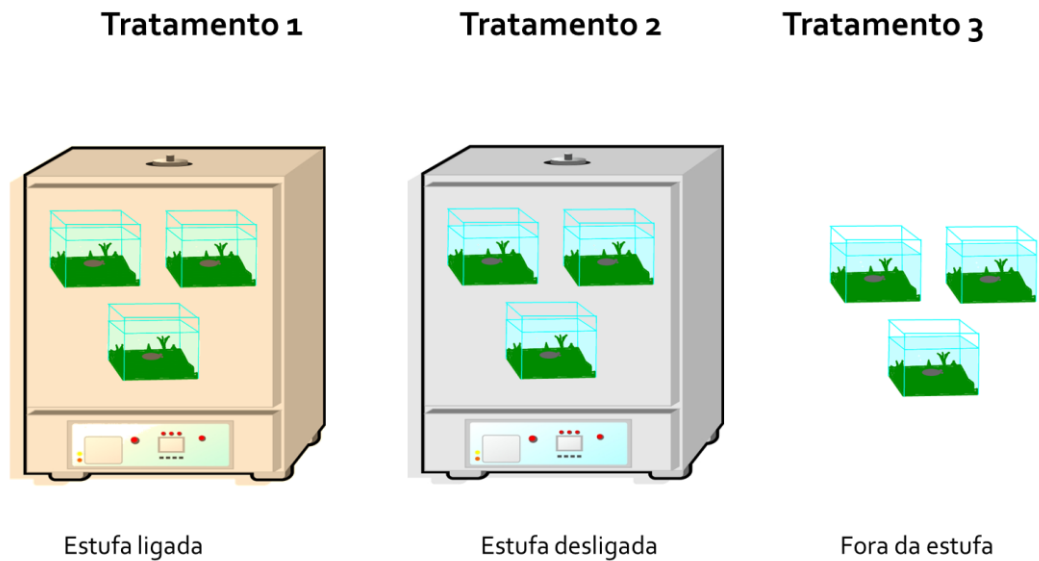


Figura 5: Representação esquemática de como se deu o experimento em laboratório.

No tratamento 1, a estufa ligada foi previamente calibrada em 31°C. Os demais aquários distribuídos entre os tratamentos 2 e 3, foram mantidos com a temperatura ambiente (cerca de 31°C). Após o período de aclimação de 96 horas, a temperatura no tratamento 1 foi elevada a fim de simular os dois cenários de mudanças climáticas previstos pelo IPCC: (a) Otimista – elevação de 1°C a 3°C e (b) Pessimista – elevação de 4°C a 6°C para o Brasil, projetados para ocorrer até o ano 2100. O fotoperíodo foi simulado com auxílio de luz artificial de LED, para que não houvesse influência na temperatura. Os organismos em todos os tratamentos foram sujeitos a 12 horas no ambiente iluminado e 12 horas no escuro. O experimento foi realizado em duas etapas: na primeira foi simulado o cenário otimista, e na segunda etapa foi simulado o cenário pessimista. Cada etapa teve duração de dois meses.

Diariamente, foi verificada a sobrevivência dos animais e realizadas observações sobre o comportamento dos indivíduos por cerca de 30 minutos, a cada 12 horas. O comportamento foi avaliado com base em dados publicados por Ng *et al.* (2017), que descreveu os comportamentos descritos na tabela 2.

Tabela 2: Comportamentos termorregulatórios que podem ser observados por *Littoraria angulifera* (Adaptado de Ng *et al.*, 2017).

Retração do pé	Os animais retraem o pé para dentro da concha, fechando o opérculo e selando-o com muco. Certos indivíduos podem manter uma pequena abertura no opérculo após retração do pé (esse comportamento é denominado <i>gaping</i>).
Seleção de refúgio térmico	Os organismos buscam refúgios, tais como embaixo de galhos e folhas.
Agregação	Os indivíduos agregam-se para modificar o ambiente, mantendo-o mais úmido e regulando a temperatura.
Towering	Pelo menos um indivíduo se fixa sobre a concha de outro animal.
Standing	O indivíduo entra na concha, sela o opérculo e “cola” uma pequena porção da abertura da concha ao substrato. O animal fica suspenso, mantendo sua abertura perpendicular ao substrato, evitando assim, o contato com a superfície quente.

Ao final do experimento, os procedimentos de aferição do peso e medição da concha foram repetidos. A cada 12 horas, foi simulado o efeito da maré, borrifando-se água na mesma salinidade obtida no estuário de origem com a finalidade de evitar a dessecação dos organismos. Para o experimento foram coletados apenas indivíduos adultos e em quantidade baseada na densidade natural dos organismos no estuário (MELO *et al.*, 2012). Todos esses aquários eram higienizados a cada 15 dias, os quais tinham as folhas e galhos trocados.

3.6. Análises estatísticas

Inicialmente, uma análise descritiva dos dados obtidos foi realizada e, a seguir, foram testadas a sua normalidade e a homogeneidade. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para comparar a distribuição de tamanhos da concha e o peso úmido entre as estações climáticas e anos de amostragem, assim

como para verificar de que maneira os dados abióticos variaram entre as estações do ano. Também foi realizada uma análise de correlação de Spearman entre as variáveis biométricas com os parâmetros ambientais obtidos (temperatura do ar, da água e do solo, umidade do ar e pluviosidade) e entre os dados abióticos entre si.

Dados experimentais de sobrevivência e tamanho da concha também foram analisados a partir de análise de variância. Já a ocorrência dos comportamentos termorregulatórios foram avaliados a partir de uma análise descritiva.

Em todas as análises foi utilizado o *software* STATISTICA® versão 7.0 e nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

4. Resultados

4.1. Monitoramento no manguezal do Rio Acaraú, em Acaraú, Ceará

4.1.1. Variáveis abióticas observadas

Com relação às variáveis ambientais, a pluviosidade variou entre os anos, sendo o ano de 2018 o mais chuvoso (Figura 6). O mês que registrou maior incidência de chuvas foi março de 2015, com 307 mm de precipitação total. A média de temperatura variou de 29°C a 39°C, sendo o mês mais quente o de março de 2013 e o mês de menor temperatura, novembro de 2013. O ano com maior média de salinidade foi 2012 e o de menor média foi 2018 (Figura 6). O mês com maior salinidade registrada foi novembro de 2017, com valor de 54 e o de menor valor foi março de 2018, com 1. O gráfico da figura 6 demonstra picos mais altos de precipitação e mais baixos de salinidade no período chuvoso e maior salinidade e menor precipitação no período seco.

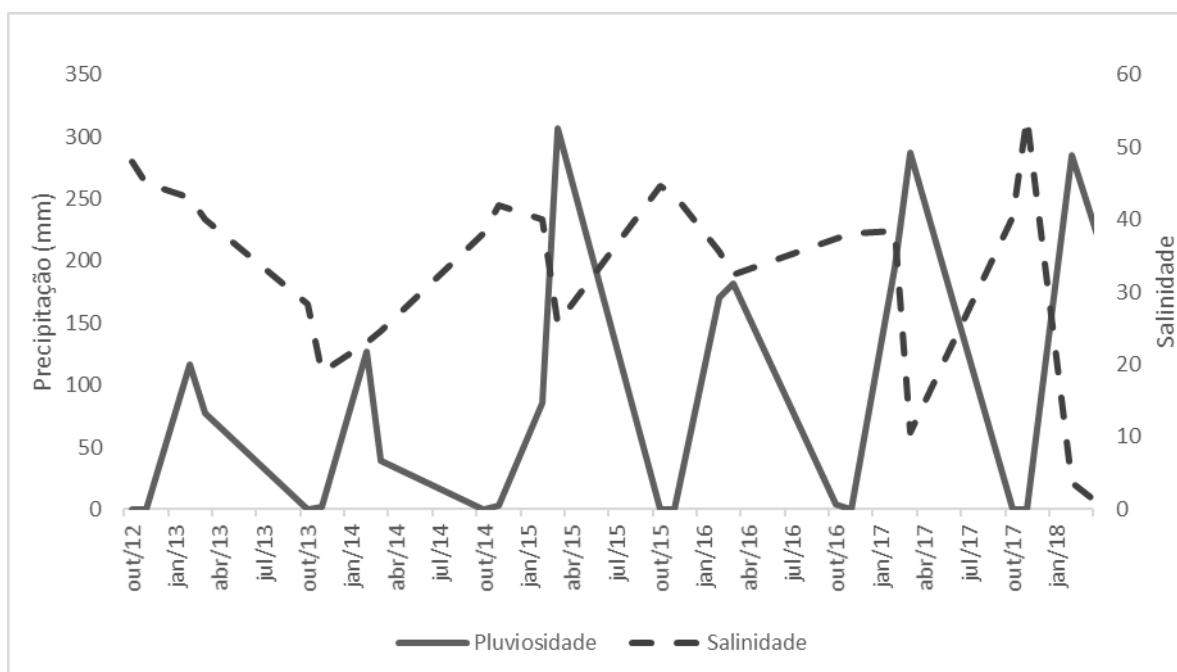


Figura 6: Incidência de chuvas (total acumulado mensal) e salinidade média nos meses de coleta (outubro de 2012 a março de 2018) no estuário do rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

A pluviosidade variou significativamente entre as estações, sendo os meses de fevereiro e março os mais chuvosos em todos os anos (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=72) = 56,56116$ $p < 0,00001$) (Figura 7).

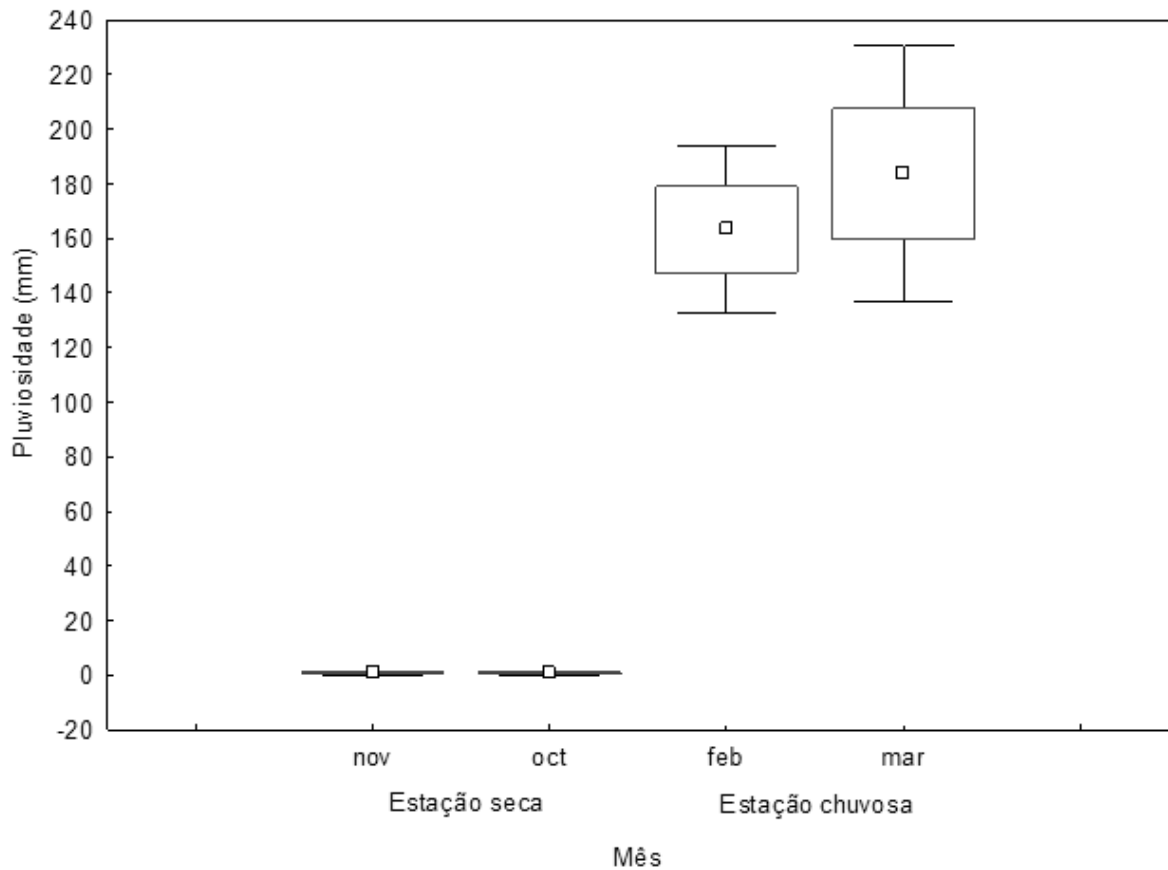


Figura 7: Pluviosidade (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

A temperatura da água também variou significativamente entre os meses, com os maiores valores encontrados em novembro (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=60) = 8,102472$ $p = 0,0439$) (Figura 8).

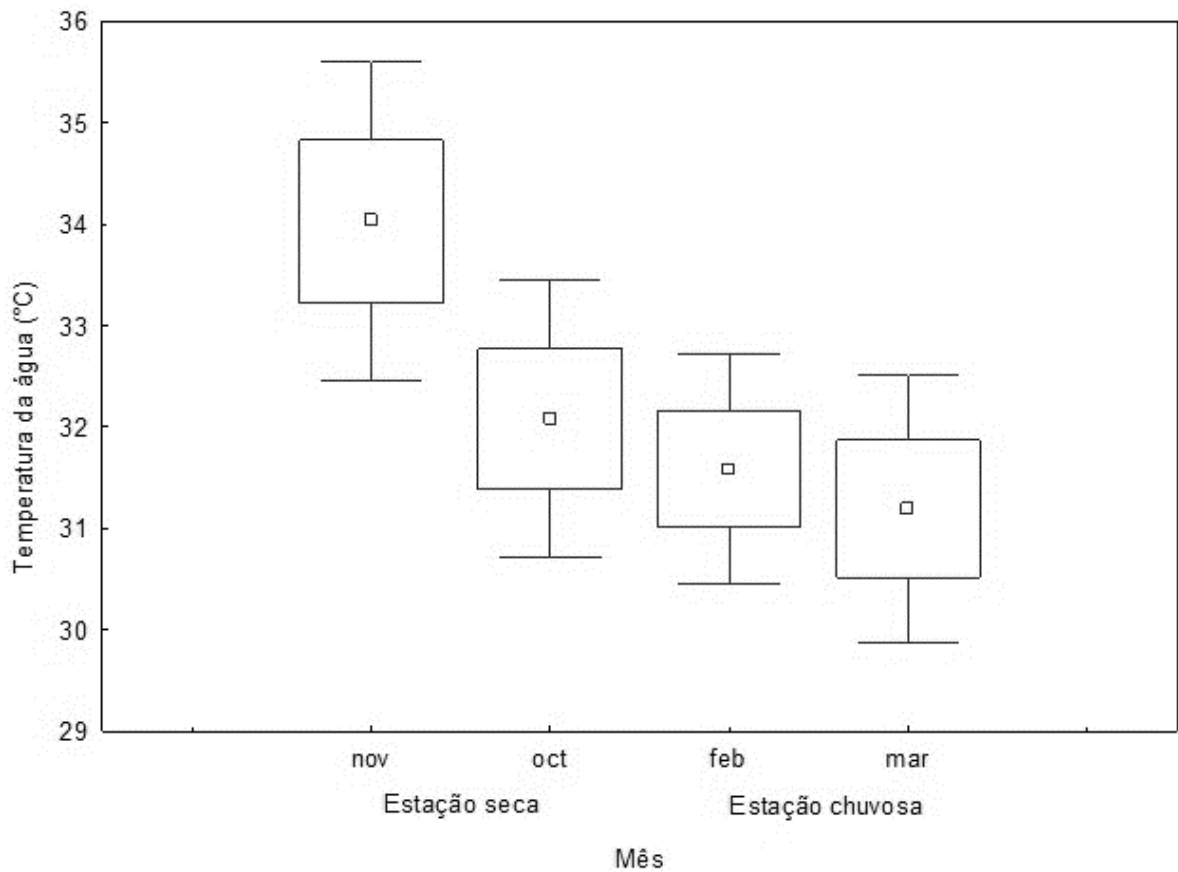


Figura 8: Temperatura da água (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

A temperatura do ar (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=71) = 6,400139$ $p = 0,8872$) e a temperatura do solo ($H(3, N=60) = 1,827577$ $p = 0,6090$) não variaram de maneira significativa entre os meses de amostragem (Figuras 9 e 10).

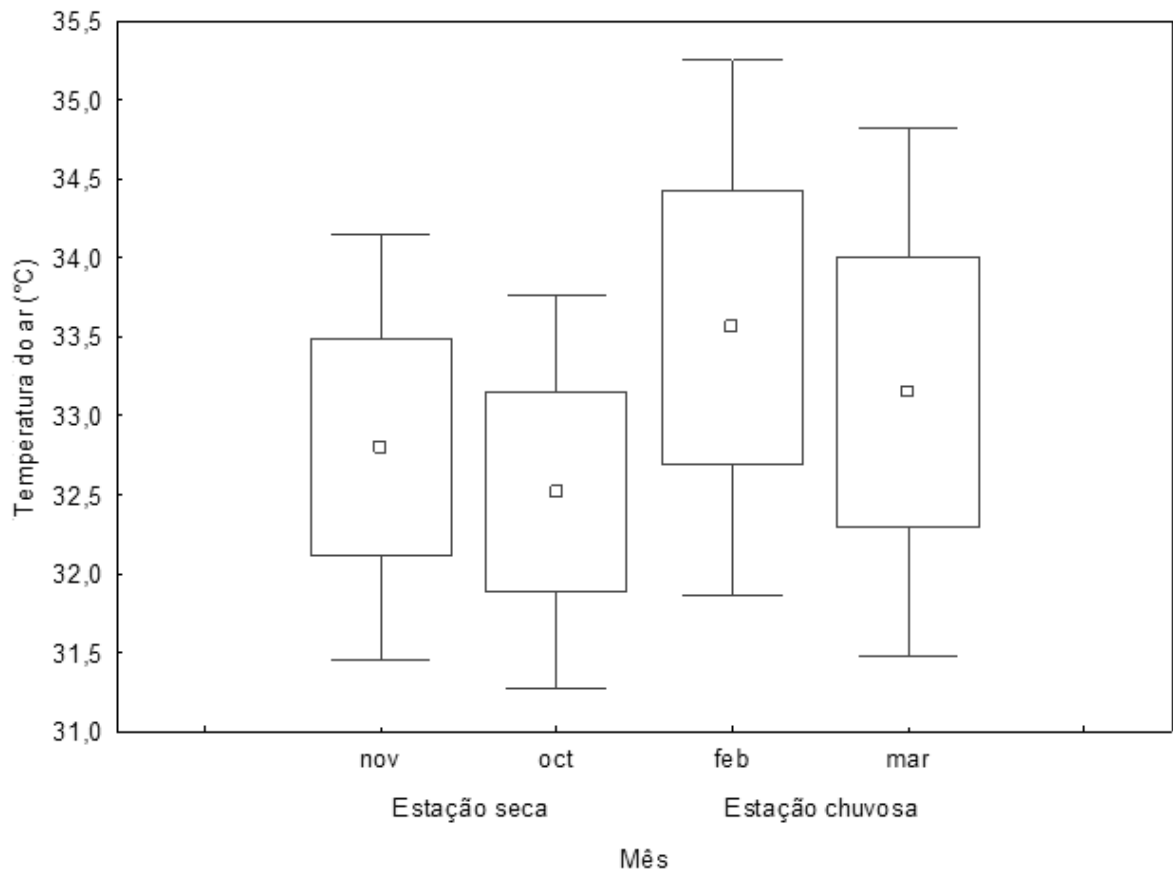


Figura 9: Temperatura do ar (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

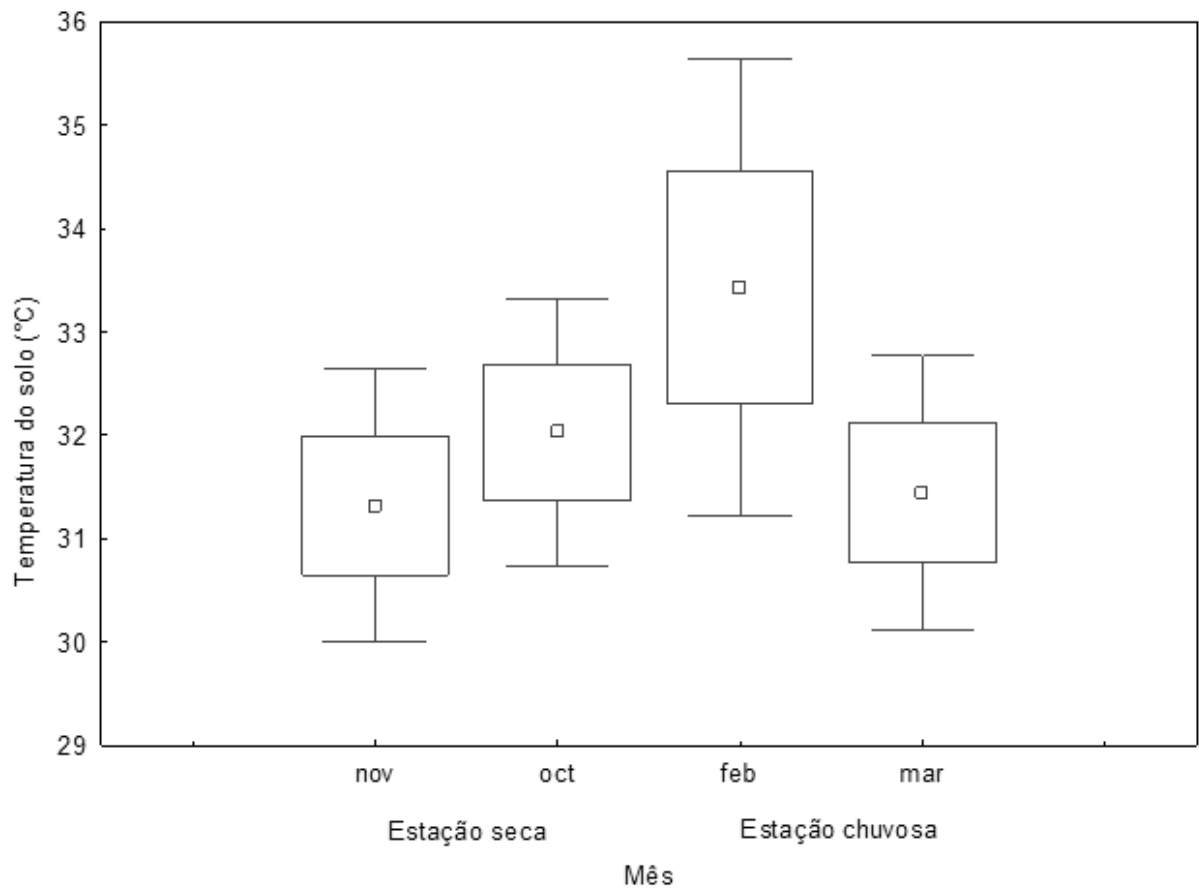


Figura 10: Temperatura do solo (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

A umidade do ar variou significativamente, sendo fevereiro e março os meses mais úmidos e outubro e novembro os meses de menor umidade (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=60) = 12,43818$ $p = 0,0060$) (Figura 11).

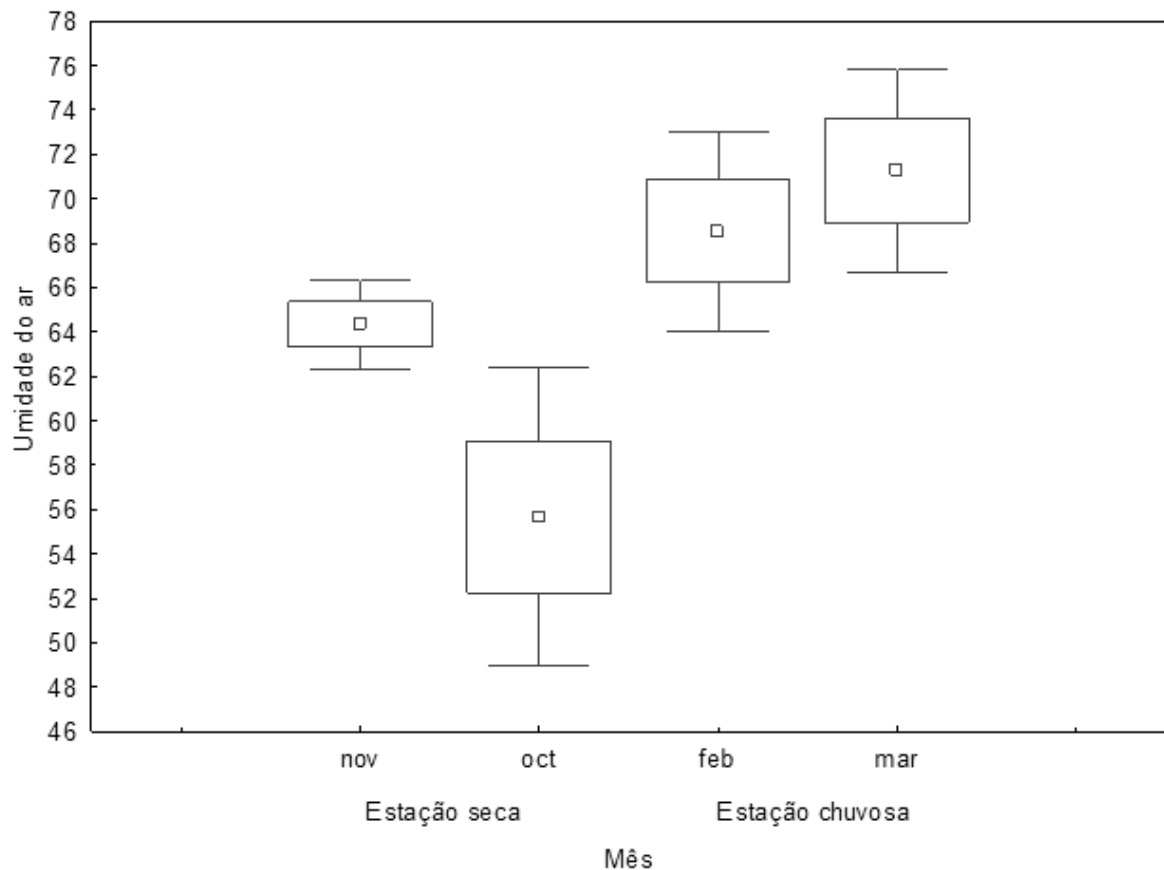


Figura 11: Umidade do ar (%) (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

4.1.2. Monitoramento de *Littoraria angulifera* no Estuário do Rio Acaraú, Ceará

A altura da concha variou significativamente entre os meses de amostragem, apresentando os maiores valores nos meses de fevereiro e março, período chuvoso na região (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=72) = 8,176945$ $p = 0,0425$) (Figura 12). A largura (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=72) = 3,733190$ $p = 0,2918$) e o peso (Kruskal-Wallis teste: $H(3, N=72) = 7,792363$ $p = 0,0505$) da concha não variaram significativamente entre as estações (Figura 13 e Figura 14).

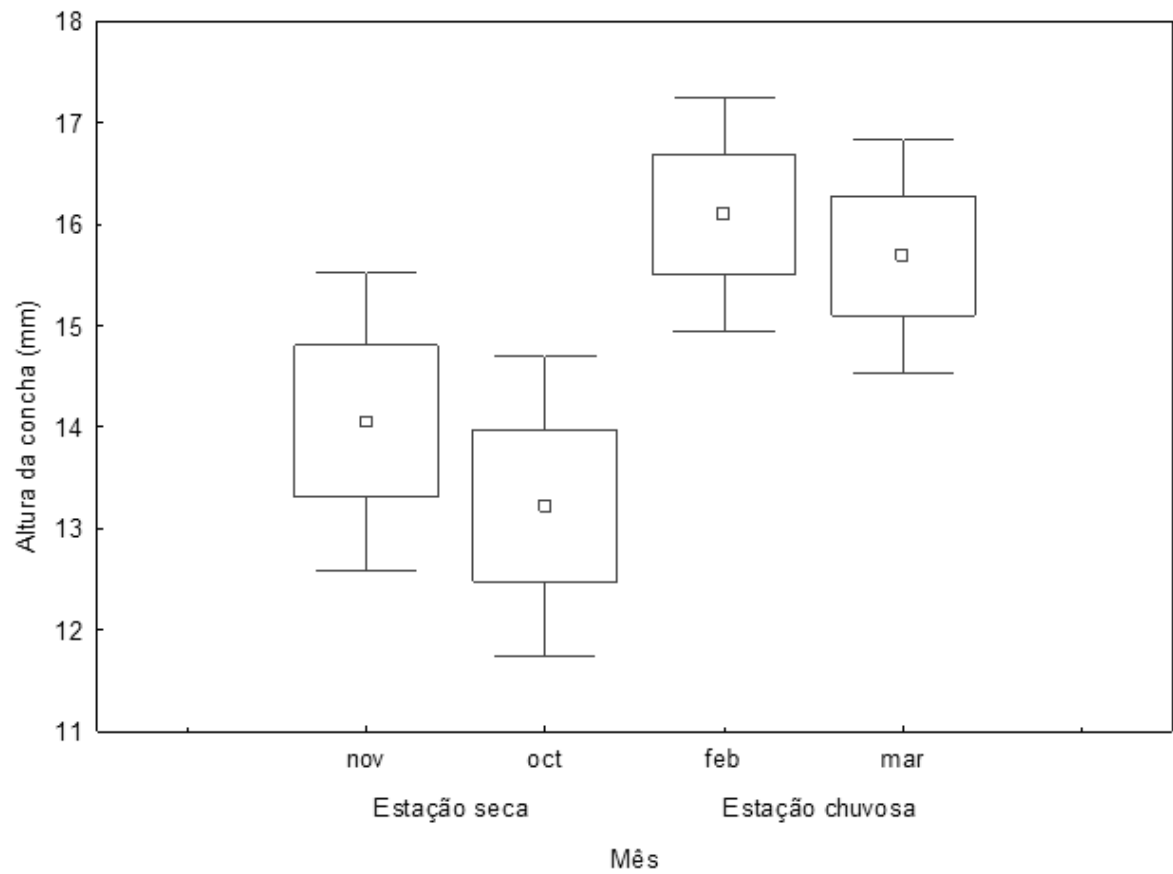


Figura 12: Altura da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

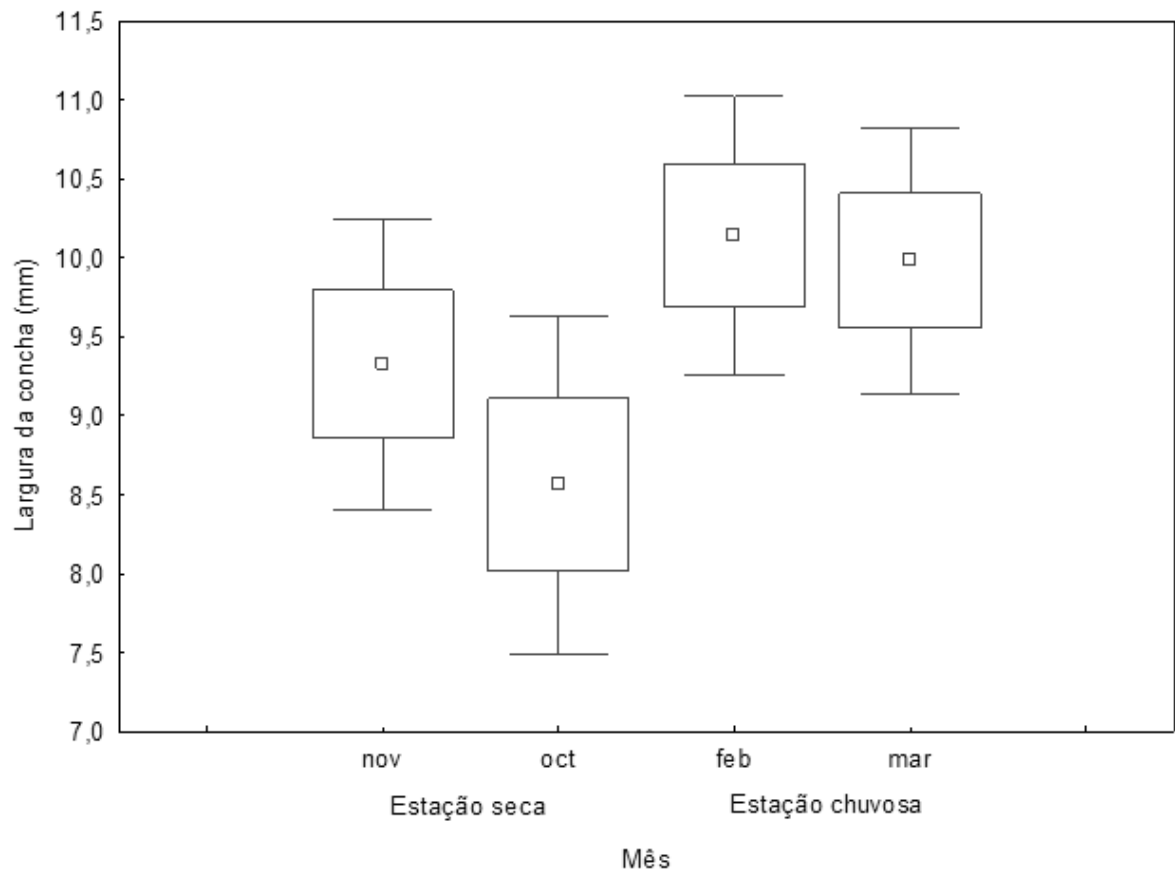


Figura 13: Largura da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

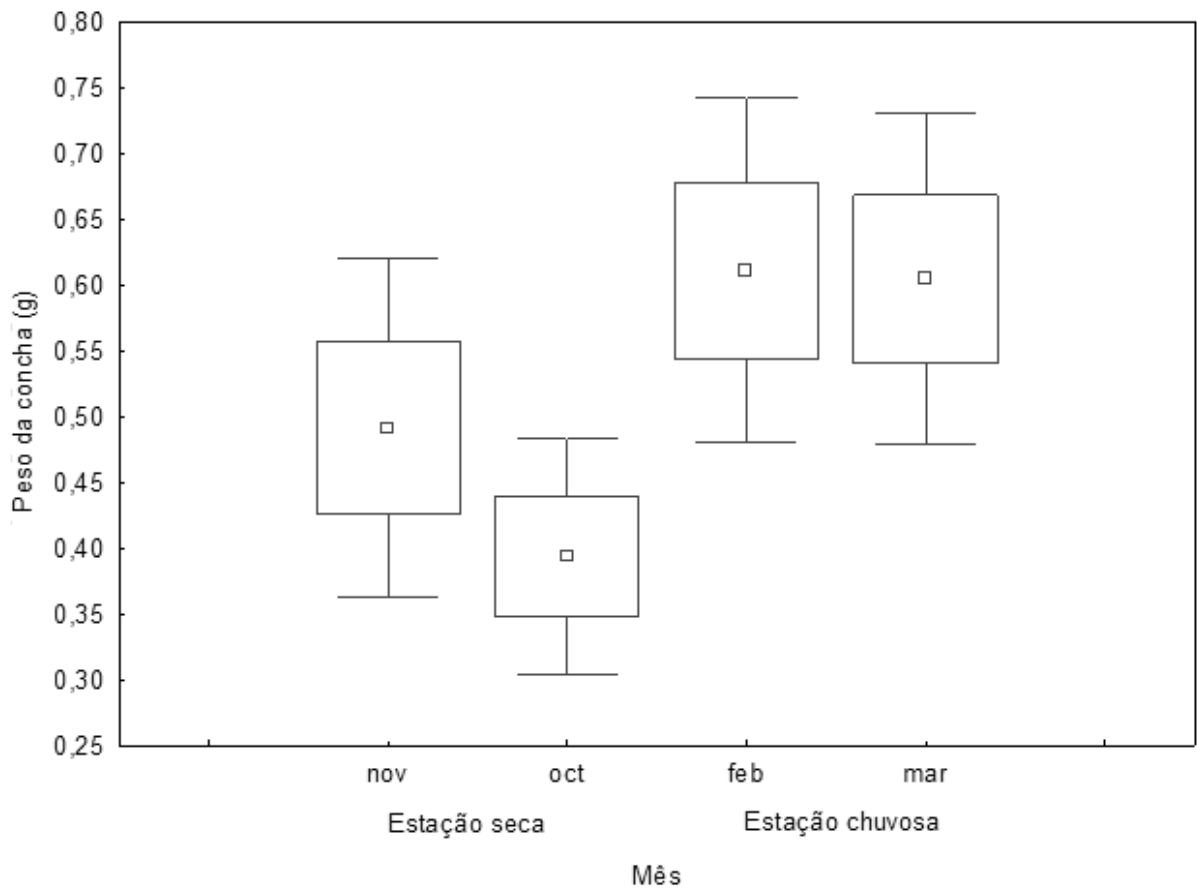


Figura 14: Peso da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) nas estações seca e chuvosa no estuário do Rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil.

A altura (Kruskal-Wallis teste: $H(6, N=72) = 39,60756$ $p = 0,0000$), largura (Kruskal-Wallis teste: $H(6, N=72) = 41,84485$ $p = 0,0000$) e peso (Kruskal-Wallis teste: $H(6, N=72) = 39,30771$ $p = 0,0000$) da concha variaram significativamente entre os anos de amostragem. Os menores valores de altura e peso foram observados em 2012, 2014 e 2015 e para largura 2012, 2013, 2014 e 2015. Já os maiores valores para altura e peso da concha foram encontrados em 2017 e 2018, e para largura, 2018 (Figura 15, 16 e 17).

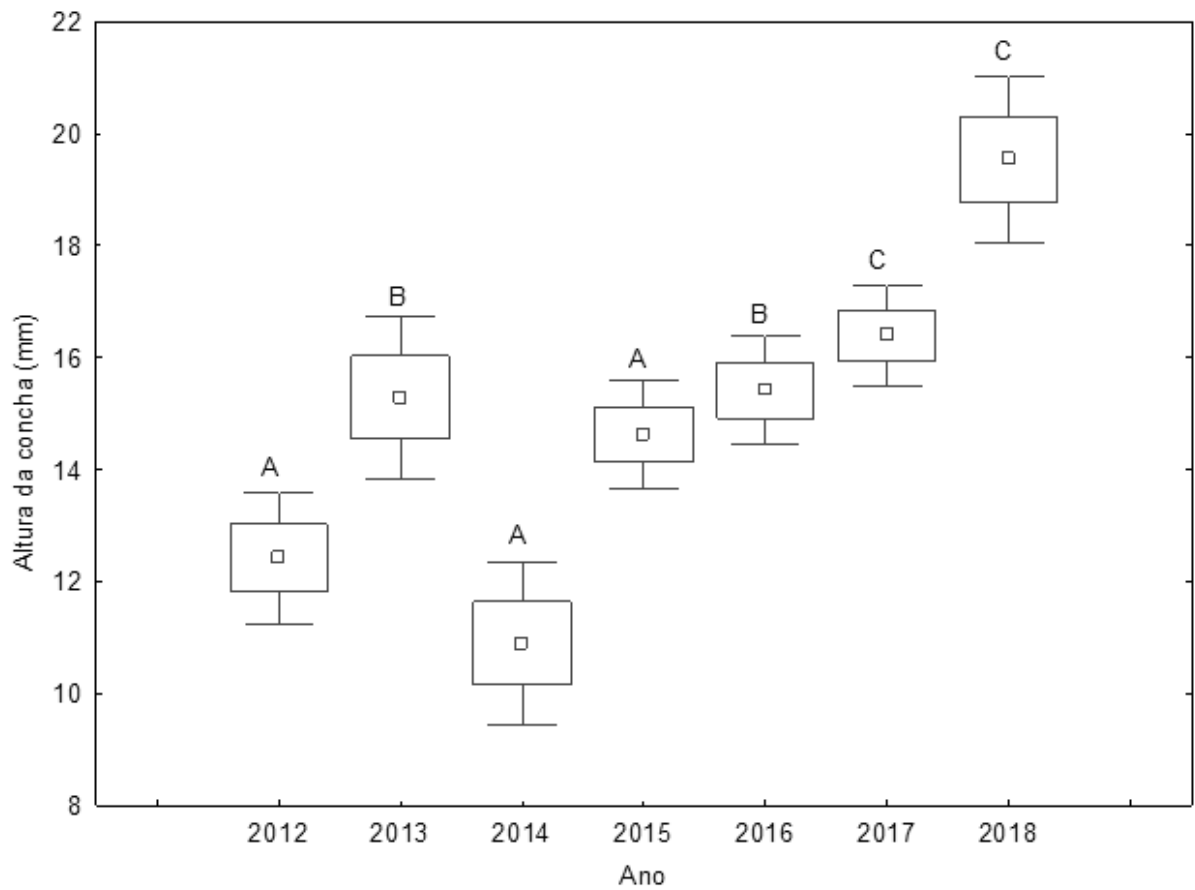


Figura 15: Altura da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas.

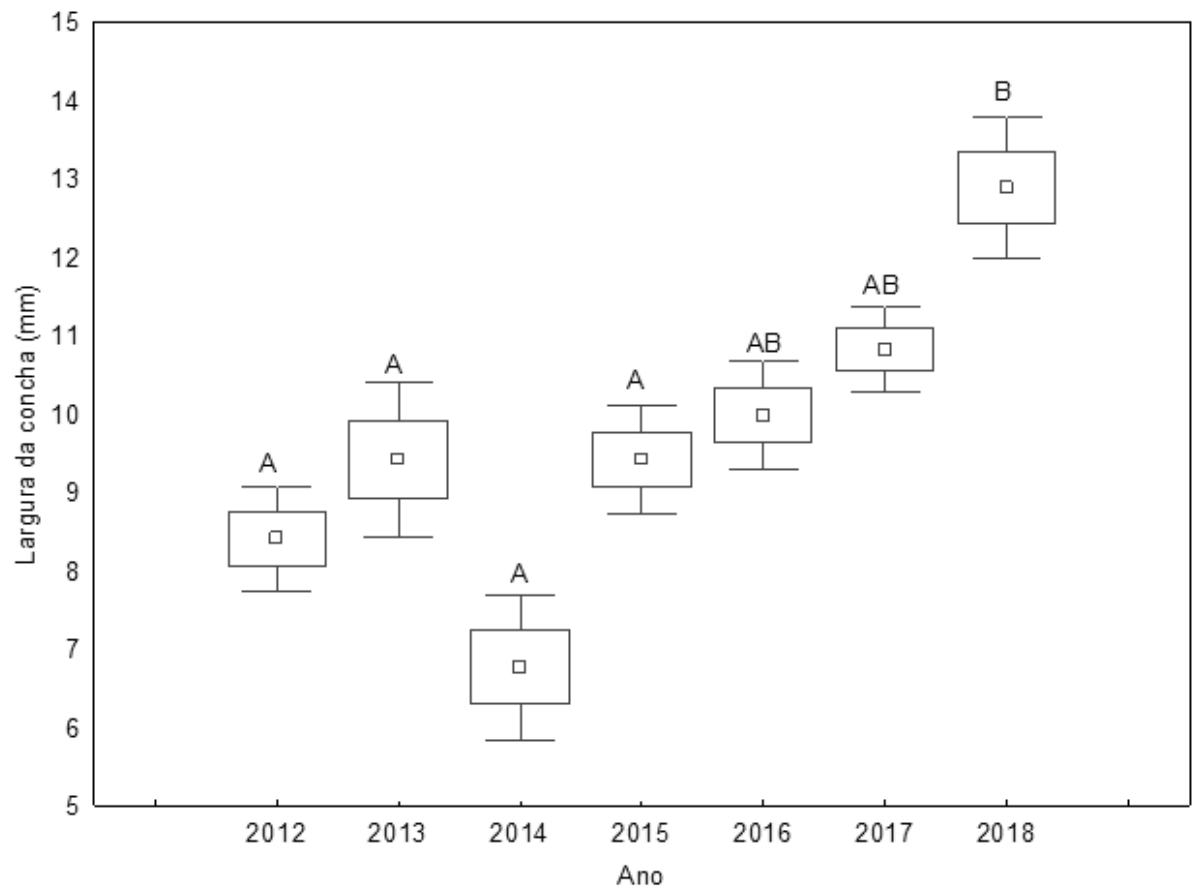


Figura 16: Largura da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas.

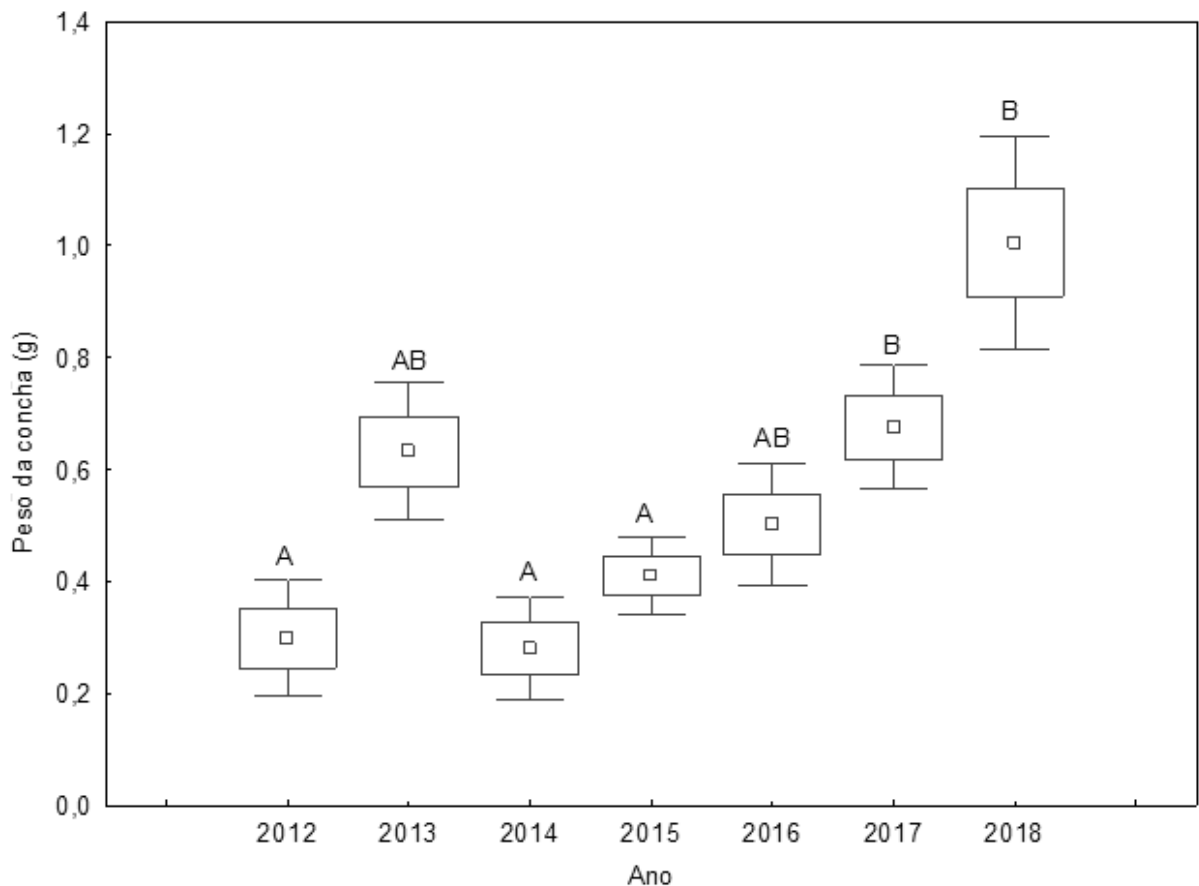


Figura 17: Peso da concha (média \pm erro padrão) entre os anos de amostragem. As letras representam diferenças significativas.

4.1.3. Interação entre variáveis bióticas e ambientais no manguezal do Rio Acaraú, Ceará

Os resultados da análise de correlação entre os dados de altura, largura e peso da concha com os parâmetros ambientais estão expressos na tabela 3 e os resultados da correlação entre os dados abióticos podem ser visualizados na tabela 4. Verificou-se que a pluviosidade obteve correlação positiva significativa com os dados de altura, largura e peso da concha, indicando que quanto maior a incidência de chuvas, há uma tendência de que maiores e mais pesados sejam os animais. Os dados abióticos tiveram correlações significativas entre si, demonstrando que essas condições dependem umas das outras, ou seja, mudanças na pluviosidade trazem modificações ambientais quanto à temperatura da água e umidade do ar, assim como a temperatura da água influencia na temperatura do solo.

Tabela 3: Resultado da análise de correlação entre altura, largura e peso da concha com dados ambientais de pluviosidade, temperatura da água, ar, solo e umidade. Os valores em negrito representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Variável	Altura da concha	Largura da concha	Peso
<i>Pluviosidade</i>	0,409953	0,335479	0,314654
<i>Temperatura da água</i>	0,178119	0,197270	0,281076
<i>Temperatura do ar</i>	0,001393	-0,024162	0,079585
<i>Temperatura do solo</i>	0,090068	0,085203	0,131488
<i>Umidade</i>	-0,044769	-0,017009	-0,040902

Tabela 4: Resultado da análise de correlação entre os parâmetros ambientais. Os valores em negrito representam resultados significativos ($p < 0,05$).

Variável	Pluviosidade	Temperatura da água	Temperatura do ar	Temperatura do solo	Umidade
<i>Pluviosidade</i>	1,000000	-0,368733	-0,182547	-0,125310	0,456045
<i>Temperatura da água</i>	-0,368733	1,000000	0,253016	0,662875	-0,328575
<i>Temperatura do ar</i>	-0,182547	0,253016	1,000000	0,212288	0,103321
<i>Temperatura do solo</i>	-0,125310	0,662875	0,212288	1,000000	-0,317263
<i>Umidade</i>	0,456045	-0,328575	0,103321	-0,317263	1,000000

4.2. Experimento: Efeitos da elevação da temperatura no comportamento e sobrevivência de *Littoraria angulifera*

Foram observadas diversas mudanças no comportamento de *L. angulifera*. Na estufa ligada, tanto durante a simulação do cenário otimista quanto no cenário pessimista, foi possível observar organismos agregados (Figuras 19C, 19D, e 19E) e embaixo de folhas e galhos (Figuras 19F, 19G, 19H, 19I, 19J, 19L e 19M). Também foi possível observar que os organismos se concentravam mais próximo da base do aquário onde havia maior umidade.

Observou-se também que os animais apresentaram o comportamento de retração do pé quando aderidos ao vidro, tanto na estufa ligada, como fora da estufa nos dois cenários. Além de terem sido observados animais aderidos aos galhos pela concha, colados pelo muco por uma pequena superfície da abertura da concha, onde ficam suspensos e com opérculo fechado. Esse comportamento é chamado “*standing*” e foi observado em maior frequência na estufa ligada tanto no cenário otimista quanto no pessimista (Figuras 19K e 19N).

A figura 18 apresenta a frequência de ocorrência dos comportamentos termorregulatórios para cada tratamento. De acordo com o gráfico, é possível perceber que a maior ocorrência de comportamentos termorregulatórios foi observada na estufa ligada, tanto no cenário otimista quanto no cenário pessimista. O comportamento mais observado foi a seleção do refúgio térmico com 26,01% registrado na estufa ligada que simulava o cenário otimista, seguido pela retração do pé, com 18,7% na estufa que simulava o cenário pessimista. O terceiro comportamento mais observado foi o *standing*, com 10,74% de ocorrência no cenário otimista e o quarto foi a agregação no cenário otimista, com 8,7%. O comportamento denominado *gaping* foi o menos observado, com 0,37%, seguido pelo *towering* com 0,56% (Figura 19A e 19B).

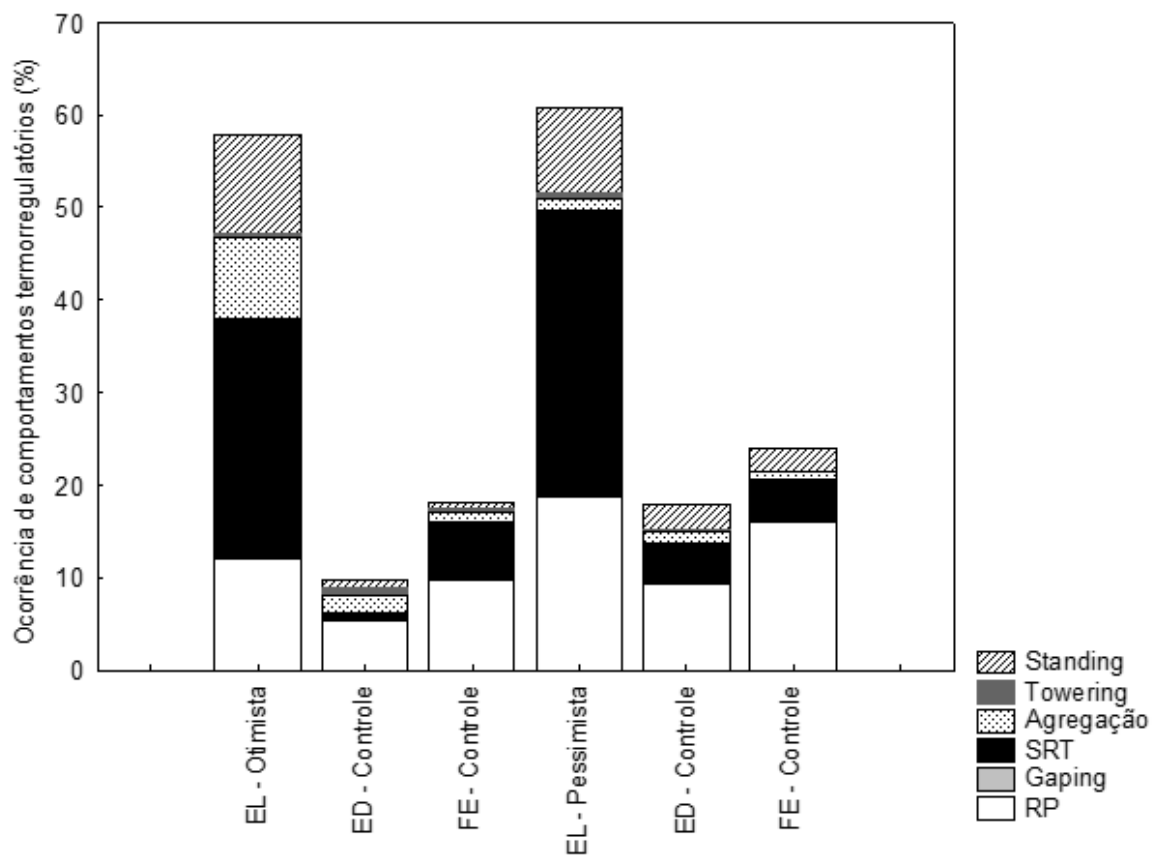


Figura 18: Ocorrência de comportamentos termorregulatórios durante experimento. EL = Estufa ligada, ED = Estufa desligada, FE = Fora da estufa, RP = Retração do pé, SRT = Seleção de refúgio térmico.



Figura 19: Comportamentos observados durante experimento até o momento. A e B, comportamento de *towering*; C, D e E, agregações de animais no vidro do aquário; F, G, H, I, J, L e M, animais embaixo de folhas e galhos (seleção de refúgio térmico), K e N, *standing* (Nomenclaturas adaptadas de Ng *et al.*, 2017).

Com relação a sobrevivência dos organismos, foi observada variação significativa (ANOVA teste: $F_{3, 14} = 23,994$, $p < 0,00001$), o que demonstrou que os tratamentos que simularam os dois cenários foram semelhantes, ou seja, não foram evidenciadas diferenças significativas entre os cenários otimista e pessimista. Embora no cenário otimista tenha sido observada a sobrevivência de 25% dos animais e

nenhum sobrevivente no cenário pessimista. De acordo com a análise os tratamentos controle, também se mostraram semelhantes, tanto dentro da estufa desligada como fora da estufa. (Figura 20).

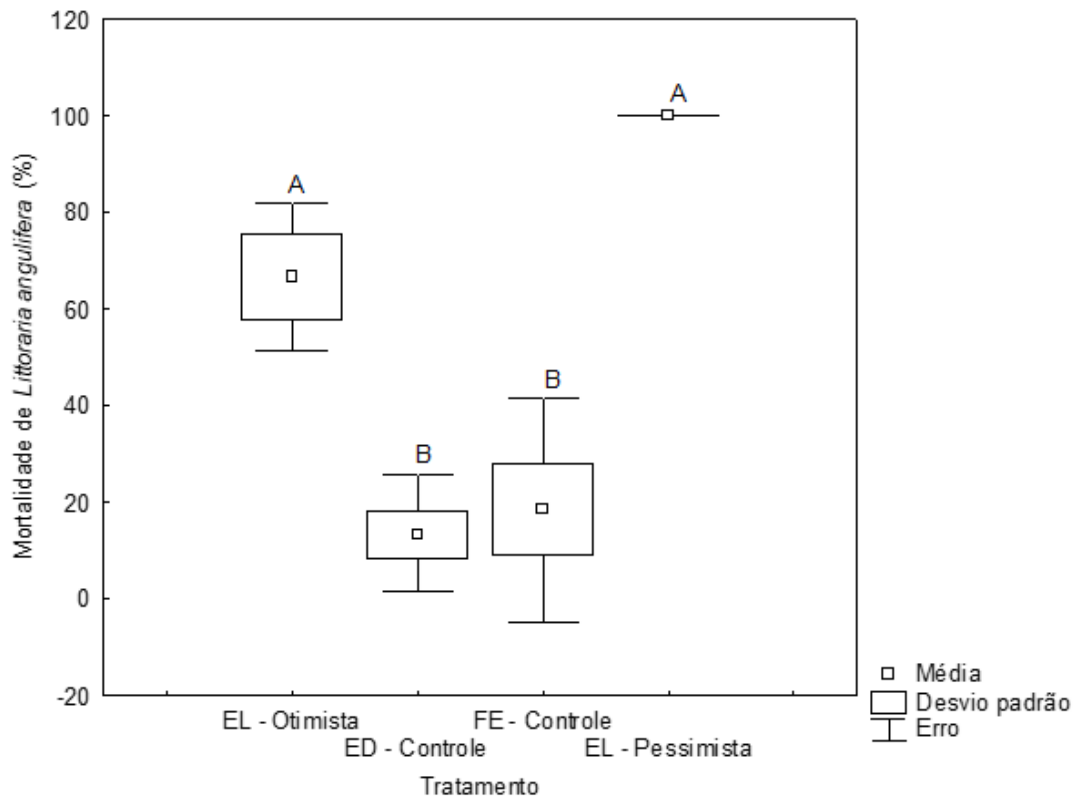


Figura 20: Mortalidade de *Littoraria angulifera* (média \pm erro padrão) durante o experimento. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa. As letras representam diferenças significativas.

As figuras 21 e 22 mostram a mortalidade a cada semana nos cenários otimista e pessimista. Nota-se que quando sujeitos a temperatura do cenário otimista, os organismos começam a morrer a partir da semana 4, com um indivíduo morto na estufa ligada (3,33%), e com maior pico de organismos mortos na semana 6, com oito organismos mortos (26,67%). Já no cenário pessimista, as primeiras mortes já podem ser observadas a partir da segunda semana, com registro de dois animais mortos (6,67%), com maior pico de mortalidade na semana 4, com nove mortes (30%).

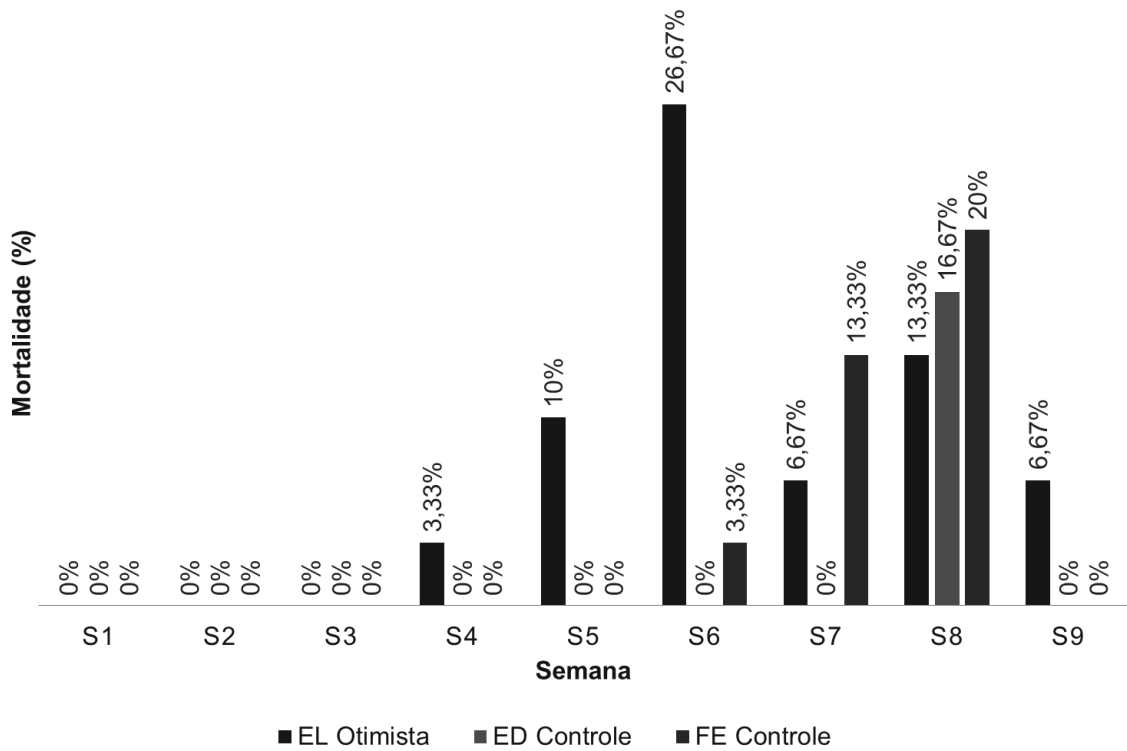


Figura 21: Mortalidade de *L. anguilifera* por semana durante simulação do cenário otimista. S = semana; EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada; FE = Fora da estufa.

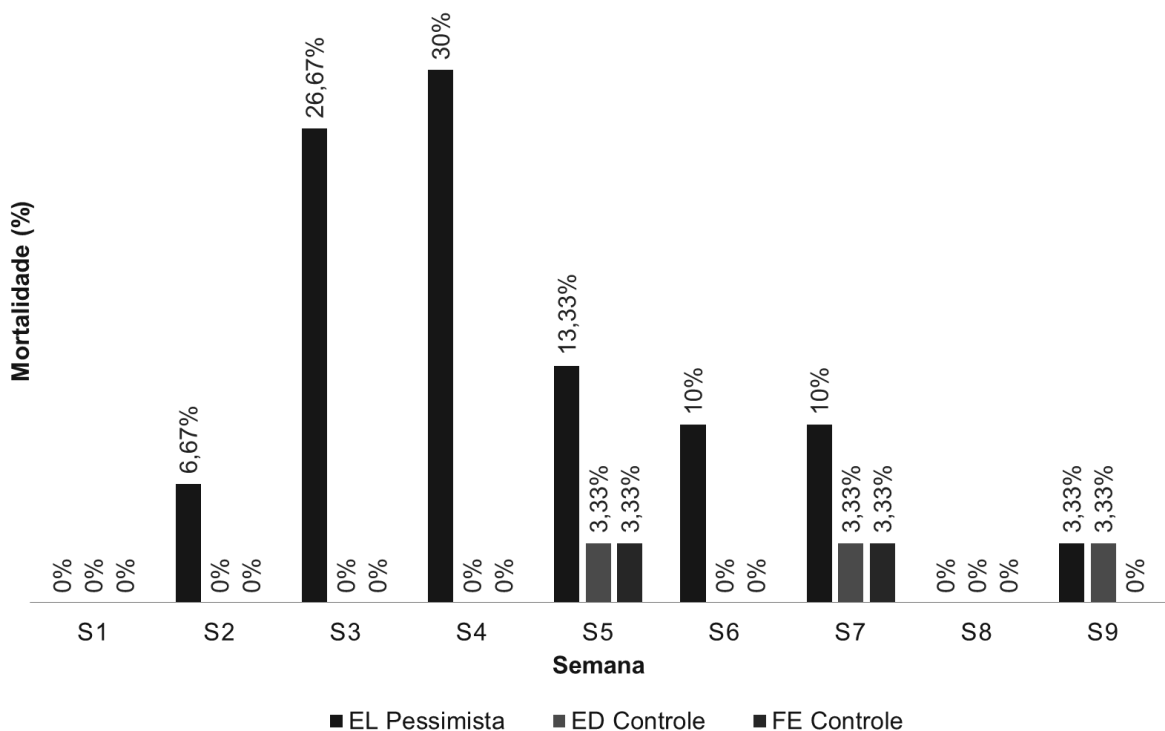


Figura 22: Mortalidade de *L. anguilfera* por semana durante simulação do cenário pessimista. S = semana; EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada; FE = Fora da estufa.

De acordo com as análises de variância, não houve diferenças significativas entre a altura (ANOVA teste: $F_{0,03384}$, $p = 0,96673$), largura (ANOVA teste: $F_{2,255} = 0,28276$, $p = 0,75394$) e peso (ANOVA teste: $F_{0,49318}$, $p = 0,61126$) da concha antes e depois do experimento (Figuras 23 à 25). Não foi possível analisar a diferença entre o antes e depois dos organismos que foram submetidos ao cenário pessimista, uma vez que todos os animais morreram.

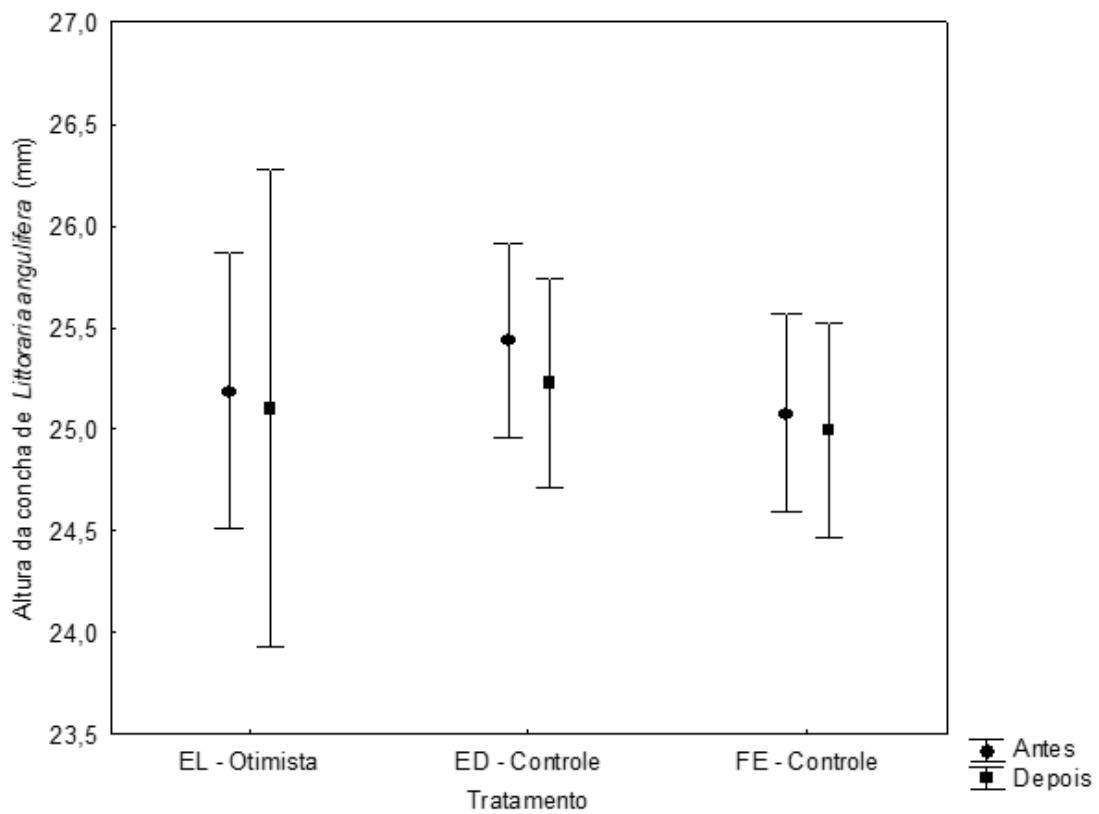


Figura 23: Altura da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa.

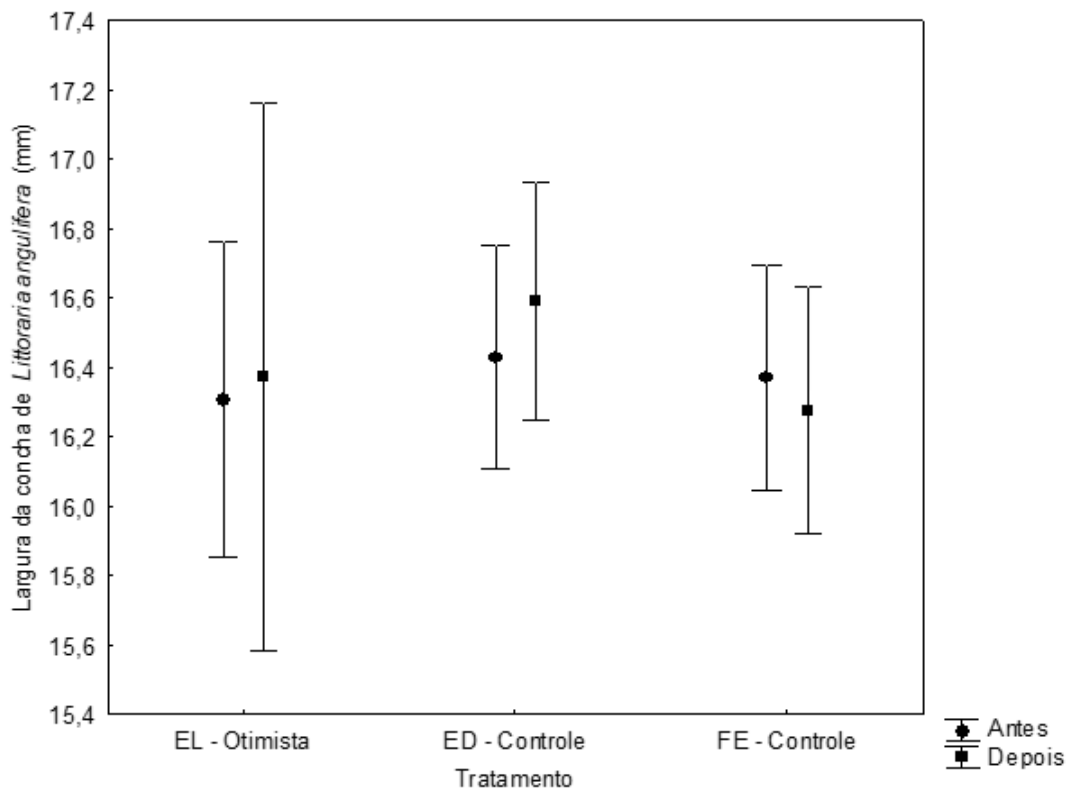


Figura 24: Largura da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa.

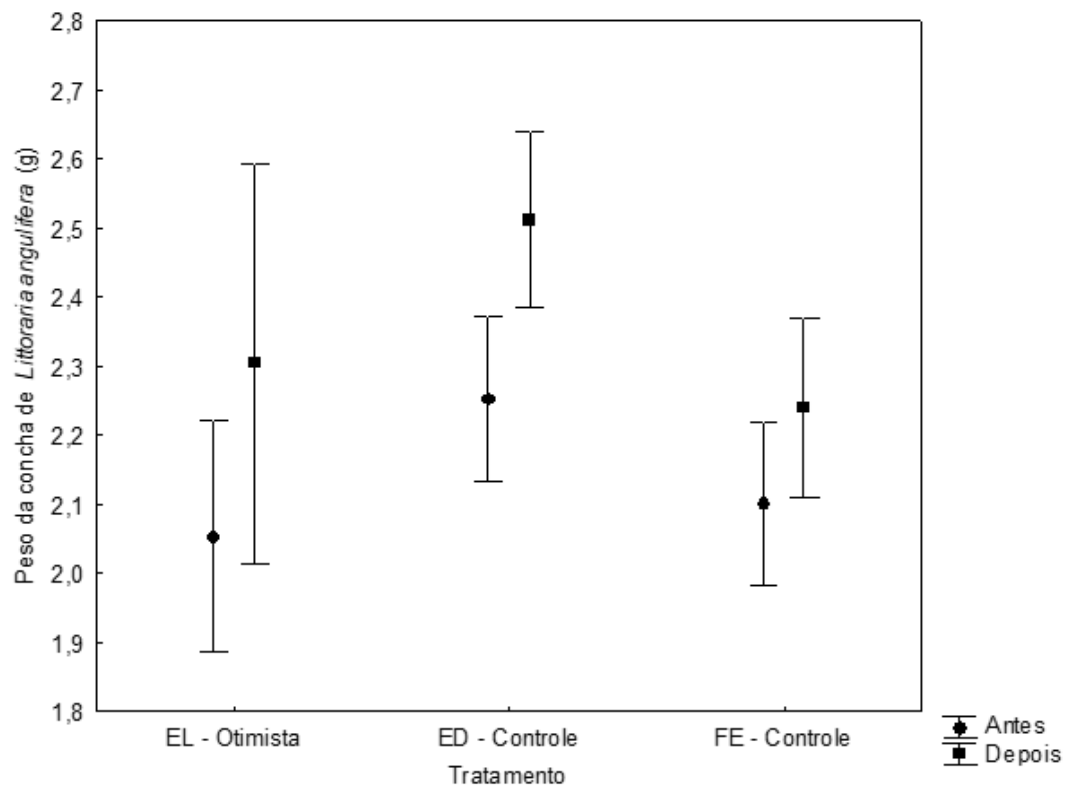


Figura 25: Peso da concha de *L. angulifera* (média \pm erro padrão) entre os tratamentos nos períodos Antes e Depois do experimento submetidos às condições de temperatura do cenário otimista. EL = Estufa ligada; ED = Estufa desligada e FE = Fora da estufa.

5. Discussão

O gastrópode *Littoraria angulifera* se mostrou um bom indicador de mudanças ambientais, uma vez que respondeu de maneira distinta por meio de alterações na altura, largura e peso da concha entre os meses e anos de amostragem no monitoramento realizado no Ceará. Além disso a espécie apresentou diferentes comportamentos termorregulatórios em resposta à temperatura durante o experimento realizado.

A análise de Bernardino *et al.* (2015) demonstrou que há uma tendência de aquecimento em todas as ecorregiões brasileiras, as quais foram analisadas nas quatro últimas décadas. No entanto, a ecorregião Nordeste, exibiu os meses mais secos dentre as outras áreas. Essa tendência de aquecimento, somada a maior ocorrência de períodos secos pode ser prejudicial para o gastrópode *Littoraria angulifera* no futuro, uma vez que moluscos quando submetidos à dessecação podem ter sua atividade reduzida, comprometendo inclusive o seu crescimento (D'ÁVILA *et al.*, 2004). Assim, em ambientes onde há a exposição destes gastrópodes à dessecação, como em períodos de maior seca, as conchas crescem menos ou mais lentamente, enquanto em períodos de maior pluviosidade esses organismos encontram melhores condições para o seu desenvolvimento.

No manguezal do rio Acaraú, a altura, largura e peso da concha se correlacionaram de forma significativa com a pluviosidade, indicando que, quanto maior a incidência de chuvas, maiores e mais pesadas serão as conchas. De acordo com Bernardino *et al.* (2016), diversas alterações climáticas estão previstas para a América do Sul, incluindo um aumento dos eventos de chuvas intensas. Porém, espera-se um aumento pequeno ou nenhuma mudança na intensidade das chuvas no Nordeste brasileiro, sendo esperada uma maior frequência de dias secos consecutivos (BERNARDINO *et al.*, 2016). Assim, o gastrópode *L. angulifera* poderá responder a esses períodos de seca maior, a partir de um incremento mais lento no tamanho e peso da sua concha, uma vez que a variação da concha destes animais é determinada pelo clima e demais condições ambientais locais (MERKT; ELLISON, 1998).

Segundo Gerlach (2007), o molusco pulmonado *Rhachistia aldabrae* (Martens, 1898) sofreu o impacto da diminuição das chuvas, o que aumentou a mortalidade dos organismos juvenis, menos tolerantes aos efeitos da dessecação. Além disso, o declínio da abundância se correlacionou com a ocorrência de períodos secos, os quais reduziram o sucesso reprodutivo dessa espécie. Impactos como esses poderão ser sentidos por *L. angulifera* e outras espécies de moluscos devido a mudanças no regime de chuvas, já que é prevista a incidência eventos climáticos extremos para o Nordeste brasileiro futuramente, com maior frequência de secas (BERNARDINO *et al.*, 2016).

Embora não tenha sido observada correlações significativas entre a altura e largura da concha e as variáveis ambientais consideradas no experimento, as correlações verificadas entre estas variáveis em campo demonstraram que a condição do ambiente é resultante da interação destas variáveis, as quais numa escala de tempo maior, poderão afetar na distribuição de tamanho e peso da concha de *L. angulifera*.

De acordo com Marshall *et al.* (2010), a adaptação térmica do litorinídeo *Echinolittorina malaccana* (Philippi, 1847), habitante do supralitoral de praias rochosas, está relacionada ao aquecimento proveniente da radiação solar, o que faz com que a temperatura corporal deste organismo atinja níveis mais elevados devido ao contato com o substrato rochoso aquecido. Nessa espécie, de acordo com os autores, as maiores temperaturas corporais foram registradas quando o aquecimento solar era mais intenso sobre as rochas. Isso pode explicar a alta ocorrência do comportamento “*standing*” durante o experimento, já que ao retrair o pé e selar o opérculo, colando uma porção muito pequena da concha no tronco, para que possa ficar suspenso, o animal evita o contato com a superfície quente. Isso possivelmente mantém temperaturas mais amenas no interior de seu corpo do que quando completamente em contato com o substrato, tornando o efeito da temperatura menos estressante.

Um dos comportamentos mais observados durante o experimento realizado em laboratório para simular os cenários otimista e pessimista previstos pelo IPCC foi a seleção de refúgio térmico. Segundo Flores *et al.* (2012), esta tendência ocorre quando os organismos, em contato com temperaturas mais altas do que o que

estão habituados, evitam temperaturas a que são mais sensíveis, modificando assim seus habitats devido à pressão do ambiente. A seleção comportamental de habitats diminui a exposição desses organismos à temperaturas letais e isso demonstra que esse comportamento possui efeitos de mitigação das consequências do aquecimento no ambiente (MARSHALL *et al.*, 2011). Entretanto, esse fator torna-se preocupante, uma vez que o aumento da temperatura do planeta a longo prazo poderá causar modificações na zona de preferência térmica dos animais (FLORES *et al.*, 2012).

Durante a fase do experimento que simulava o cenário pessimista, foi possível observar que os organismos se encontravam em repouso em grande parte das vezes. Comportamento semelhante foi observado em *E. malaccana*, a qual diminuiu o seu metabolismo em resposta ao aquecimento, sendo esta uma estratégia fisiológica para conservar energia devido às altas temperaturas para compensar as restrições relacionadas ao ganho de energia ao longo da vida (MARSHALL *et al.*, 2011). Temperaturas acima dos limites que essa espécie pode suportar podem ameaçar a existência dessas populações, uma vez que há redução dos níveis de energia voltados para o crescimento e reprodução desses organismos, e em casos mais severos, causará mortalidade dos animais devido ao esgotamento das suas reservas de energia (MARSHALL *et al.*, 2011).

Respostas comportamentais e ecológicas podem ser uma maneira de minimizar o estresse térmico, entretanto é fundamental compreender se animais ectotérmicos de ambientes tropicais, tais como a espécie *L. angulifera*, possuem suficiente capacidade, através de seu comportamento, de compensar os efeitos de temperaturas extremas (CHAPPERON; SEURONT, 2010). Neste trabalho, quando submetidos ao cenário pessimista em mesocosmos, todos os organismos morreram, o que demonstra que apesar da alta incidência de comportamentos termorregulatórios, nesse cenário extremo, estes não foram suficientes para manter a sobrevivência dos animais. Assim, acredita-se que no futuro, se as previsões previstas pelo IPCC (2013) se concretizarem, é possível que a espécie *L. angulifera* possa não adaptar-se às mudanças de temperatura em regiões onde o aquecimento atinjam valores semelhantes aos que foram avaliados experimentalmente neste estudo.

Diante dos resultados obtidos, a hipótese de que gastrópode *L. angulifera* é uma espécie indicadora das mudanças climáticas que afetam o ecossistema manguezal foi confirmada, já que os animais responderam por meio de modificações

no tamanho de sua concha em resposta às variáveis ambientais, comportamentos termorregulatórios e alta mortalidade quando submetidos a temperaturas mais altas.

6. Conclusão

- *Littoraria angulifera* modifica o tamanho e peso de sua concha em resposta às variáveis ambientais em campo.
- Os organismos são bastante sensíveis ao aumento de temperatura previsto pelo IPCC (2013), respondendo por meio de aumento significativo da mortalidade e de diversos comportamentos termorregulatórios.

REFERÊNCIAS

ATALAH J, CROWE T. P. Nutrient enrichment and variation in community structure on rocky shores: The potential of molluscan assemblages for biomonitoring. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 99, p. 162–170, 2012.

BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 24-40, 2012.

BERNARDINO, A. F. et al. Benthic Estuarine Assemblages of the Eastern Marine Brazilian Ecoregion (EME). In: **Brazilian Estuaries**. Springer, Cham, 2018. p. 95-116.

BERNARDINO, A. F. et al. Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 74-82, 2015.

BERNARDINO, A.F. *et al.* MONITORAMENTO DE ECOSSISTEMAS BENTÔNICOS ESTUARINOS. In: **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros**. 2015. p. 134-146.

BERNARDINO, A.F. et al. Benthic estuarine communities in Brazil: moving forward to long term studies to assess climate change impacts. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. spe2, p. 81-96, 2016.

BERNARDINO, A. F, et al. **Monitoramento de ecossistemas bentônicos estuarinos**. In: TURRA, A.; DENADAI, M. R., orgs. Protocolos de campo para monitoramento de habitats bentônicos costeiros - Rede de Monitoramento de Habitat Bentônico Costeiros – ReBentos [online]. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015.

CANNON, W. B. **Bodily changes in pain, hunger, fear and rage**. Oxford, England: Appleton, 1929.

CASAL, F. S. C.; SOUTO, F. J. B. Mangrove ecozonation in artisanal fishery of crustacea of Marine Extractive Reserve of Baía de Iguape, Maragogipe, Bahia, Brazil. **SITIENTIBUS série Ciências Biológicas**, v. 11, n. 2, p. 143-151, 2012.

CHAPPERON, C.; SEURONT, L. Behavioral thermoregulation in a tropical gastropod: links to climate change scenarios. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1740-1749, 2011.

CORREIA, M.D., SOVIERZOSK, H. H. **Ecosistemas Marinhos: recifes, praias e manguezais. Série Conversando sobre Ciências em Alagoas**. EDUFAL. Maceió. 2005. 55p.

CUNHA-LIGNON, M., MENGHINI, R.P., SANTOS, L.C.M., NIEMEYER-DINÓLA, C., SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.9, n.1, p. 79-91, nov. 2009.

D'ÁVILA, S.; DIAS, R. J. P.; BESSA, E. C. de A.; DAEMON, E. Resistência à dessecação em três espécies de moluscos terrestres: aspectos adaptativos e significado para o controle de helmintos. **Revista Brasileira de Zootecias**, v.6, n.1, p. 115-127, jul. 2004.

DUKE, N. C. Mangrove Floristics and Biogeography Revisited: Further Deductions from Biodiversity Hot Spots, Ancestral Discontinuities, and Common Evolutionary Processes. In: **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective**. Springer, Cham, 2017. p. 17-53.

FLORES, R. R. et al. Temperatura óptima y preferencia térmica del camarón de río *Macrobrachium tenellum* en la costa tropical del Pacífico mexicano. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 38, p. 121-130, 2012.

GERLACH, J. Short-term climate change and the extinction of the snail *Rhachistia aldabrae* (Gastropoda: Pulmonata). **Biology Letters**, v. 3, n. 5, p. 581-585, 2007.

IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. In: Stocker, T. F. et al. (eds.). **Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2013.

LANA, P. C. *et al.* Benthic Estuarine Assemblages of the Southeastern Brazil Marine Ecoregion (SBME). In: **Brazilian Estuaries**. Springer, Cham, 2018. p. 117-175.

LIJTEROFF, R., LIMA, L., PRIERI, B. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminação atmosférica em la ciudad de San Luis, Argentina. **Revista internacional de educación ambiental**. v.3. n.1, p.3-6, octubre. 2008.

MAIA, R. C.; ROSA-FILHO, J. S.; ROCHA-BARREIRA, C. A.; MATTHEWS-CASCON, H.; SANTOS, E. S.; DAVID, H. N.; MATOS, A. S. Benthic Estuarine Assemblages of the Northeastern Brazil Marine Ecoregion. In: **Brazilian Estuaries**. Springer, Cham, 2018. p. 75-94.

MAIA, R.C., LIMA-VERDE, F.B., ROLEMBERG, K.F. Padrões de distribuição vertical e horizontal de *Littoraria angulifera* (Lamarck, 1822) nos estuários dos rios Ceará e Pacoti, Estado de Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.43, n.2, p. 32-39, 2010.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006.

MARSHALL, D. J. et al. Thermal adaptation in the intertidal snail *Echinolittorina malaccana* contradicts current theory by revealing the crucial roles of resting metabolism. **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 21, p. 3649-3657, 2011.

MARSHALL, D. J.; MCQUAID, C. D.; WILLIAMS, G. A. Non-climatic thermal adaptation: implications for species' responses to climate warming. **Biology Letters**, p. rsbl20100233, 2010.

MELO, C.G.B., MAIA, R.C., ROCHA-BARREIRA, C.A. Variação morfológica da concha e densidade populacional de *Littoraria angulifera* (Mollusca: Gastropoda) em manguezais do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v.45, n.2, p. 68-76, 2012.

MERKT, R. E.; ELLISON, A. M. GEGGRAPHIC AND HABITAT-SPECIFIC MORPHOLOGICAL VARIATION OF. **Malacologia**, v. 40, n. 1-2, p. 279-295, 1998.

NASCIMENTO, A. N. Manguezal e carcinicultura: o conflito da ecocompatibilidade. **Diálogos e Ciência**, v. 5, n. 10, p. 1-15, 2007.

NG, T. P. T. *et al.* Linking behaviour and climate change in intertidal ectotherms: insights from littorinid snails. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 492, p. 121-131, 2017.

NG, T. P.T. DAVIES, M. S., STAFFORD, R., WILLIAMS, G.A. Mucus trail following as a mate-searching strategy in mangrove littorinid snails. **Animal Behavior**, v.82, n.1, p. 459-465, jul. 2011.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.37, n.1, p. 637-669, 2006.

RIBEIRO, M. B. **Ocorrência de contaminação por tributilestanho (TBT) na baía de Vitória, ES por meio de intersex em *Littoraria angulifera* (GASTROPODA, CAENOGASTROPODA, LITTORINIDAE)**. 2013. 80f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas). Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, Vitória, 2013.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal. Ecosistema entre a Terra e o Mar.** Caribbean Ecological Research. São Paulo, 1995. 64p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MOLERO, G. C.; ADAIME, R. R. ; CAMARGO, T. M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-218, ago.1990.

SHERIDAN, J. A.; BICKFORD, D. Shrinking body size as an ecological response to climate change. **Nature climate change**, v. 1, n. 8, p. 401-406, 2011.

SOARES, M. L. G. et al. Mangrove forests associated with salt flats: a case study from southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 2, p. 102-115, 2017.

SPALDING, M. D. *et al.* Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. **AIBS Bulletin**, v. 57, n. 7, p. 573-583, 2007.

THIERS, P.R.L., MEIRELES, A. J. A., SANTOS, J. O. **Manguezais na costa oeste cearense.** Imprensa Universitária. Fortaleza. 2016. 126p.

VASQUES, R. O. R., TONINI, W. C. T., CUEVAS, J. M., SANTOS, D. F., FARIA, T. A., de CARVALHO FALCÃO, F., COUTO, E. D. C. G. Utilização das Áreas de Manguezais em Taipús de dentro (Maraú, Sul da Bahia). **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11 n.2, p. 155-161, fev. 2011.