



**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ UFPA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS PPGCA**

RONALDO DA CRUZ BRAGA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DIANTE DA AÇÃO DO MAR NA
ZONA COSTEIRA DE SALINÓPOLIS-PARÁ-AMAZÔNIA**

BELÉM-PARÁ

2019

RONALDO DA CRUZ BRAGA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DIANTE DA AÇÃO DO MAR NA ZONA
COSTEIRA DE SALINÓPOLIS-PARÁ-AMAZÔNIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Gueldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais

Orientadora: Dr^a. Márcia Aparecida da Silva Pimentel

**BELÉM-PARÁ
2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

B813v Braga, Ronaldo da Cruz
Vulnerabilidade socioambiental diante da ação do mar na zona
costeira de Salinópolis-Pará-Amazônia / Ronaldo da Cruz Braga. —
2019.
168 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2019.

1. Vulnerabilidade . 2. Impacto. 3. Adaptação. 4.
Salinópolis. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 500.1

RONALDO DA CRUZ BRAGA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DIANTE DA AÇÃO DO MAR NA ZONA
COSTEIRA DE SALINÓPOLIS-PARÁ-AMAZÔNIA**

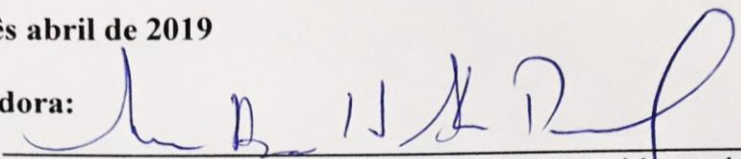
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Gueldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

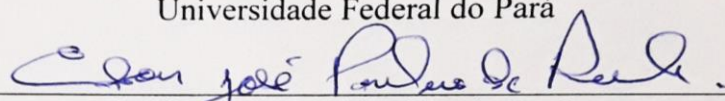
Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

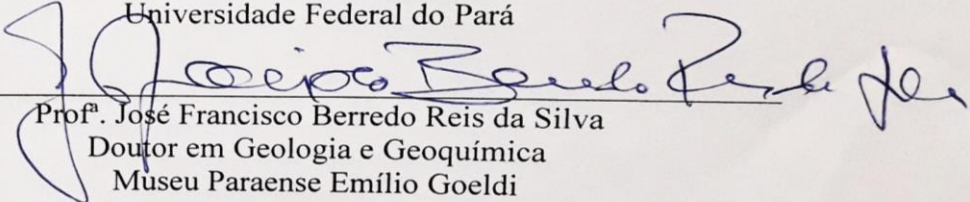
Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.


Belém, 12 do mês abril de 2019

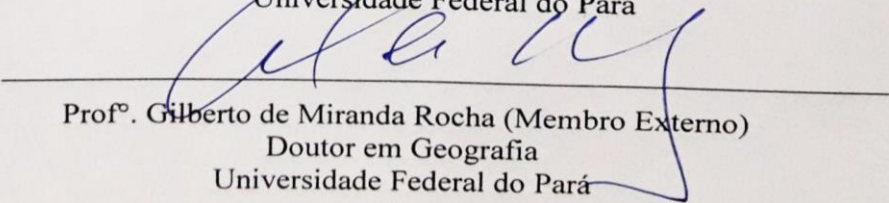
Banca Examinadora:


Prof.ª Márcia Aparecida da Silva Pimentel (Presidente da Banca)
Doutora em Geografia
Universidade Federal do Pará


Prof.º Edson José Paulino da Rocha
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará


Prof.º José Francisco Berredo Reis da Silva
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi


Prof.º Marcelo Röllnic (Membro Externo)
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará


Prof.º Gilberto de Miranda Rocha (Membro Externo)
Doutor em Geografia
Universidade Federal do Pará

Dedico

À minha esposa Celisse Brito Braga, à minha filha Clarisse Braga, ao meu eterno amigo e sobrinho e irmão Renaldo Benedito, nosso Nico Velho (nosso amor. O para sempre amor de nossas vidas.), ao meu pai Raimundo Nonato, aos meus irmãos e à minha amável e sempre incentivadora mãe Maria do Carmo Cruz.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, meu criador e Salvador. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará-IFPA, Campus Belém. À Universidade Federal do Pará UFPA. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCA. À minha orientadora Márcia Pimentel e aos professores, colegas e amigos que contribuíram com a pesquisa. Agradeço enormemente à minha amada esposa Celisse, que tem orado incessantemente por mim, sem a qual, não chegaria a este momento.

Chegar a esse momento de defesa não foi fácil. Muitos dias de dedicação, cansaço, stress, etc., mas também muitos momentos prazerosos, de leitura, escrita, obtenção dos resultados, etc. Os momentos de alegria se sobressaíram.

Pessoalmente, terminar essa Tese é o ápice de tudo o que nunca pensei que iria conquistar. Digo: foi Jesus que fez isso por mim.

Lembro dos meus primeiros dias de escola. A pré-escola: chamávamos de pré, na verdade era uma creche, que ainda hoje existe. Ia somente para brincar, mas lembro ainda das aulas de desenho e de alguns colegas. Também não posso me esquecer da “merenda”. Fiz amizade com a tia Bita e também por ser o menor da turma e o mais fraco, quase sempre ela me dava uma porção a mais. Era nossa refeição, que para muitos era a única do dia. Era um prédio com somente uma sala e uma cantina. Todos nós eramos filhos de pais muito pobres. No meu caso, meu pai Nonato era (é) vigilante e roceiro e minha mãe Maria do Carmo roceira e dona de casa. Nunca o estudo foi prioridade em minha casa. Talvez a busca por alimento e a pobreza possam servir como justificativas. Meus pais não terminaram o primário e quando cresci, meus três primeiros irmãos já não moravam em casa, a necessidade os fez ir morar com outras pessoas.

Tem uma coisa que se destacou em todos esses momentos: o interesse de minha mãe por mim. Ainda lembro os inúmeros momentos que ela ia me buscar na creche. Alguns deles, ela estava tão cansada que era eu que a levava para casa. Esse interesse nunca mudou. Ela sempre se interessou pelos meus estudos. Era quem me acordava todos os dias, sem exceção.

Após a creche fui estudar o básico (1ª a 4ª série) na Escola Raimunda Barros. Uma escola pública que tinha 4 salas e era a melhor e única do bairro. Não terminei a 1ª série. Fiquei doente e fui hospitalizado. Mas ao voltar, lembro que, talvez tenha sido naquele momento, que se iniciou em mim duas características estudantis importantes: respeito pelos professores e vontade de aprender. Naquele momento, essa vontade se assemelhava a um certo tipo de medo ou temor por não fazer a coisa certa. Só sei que isso foi se avolumando que terminei de forma excelente essas séries. Aqui tenho o dever de dizer que minha avó Luiza (*in memorian*) foi minha maior incentivadora. Na 2ª série fui morar com ela. Ela tinha criado 12 filhos de forma

bem rígida e essa rigidez foi aplicada a mim por um tempo. Nesse momento, aprendi um pouco sobre remir o tempo, ajudar em casa, religião e, principalmente, diferenciar tempo de brincar e tempo de estudo. Sua frase “Nardo, não proíbo você de brincar, mas seu tempo não pode ser gasto todo nisso, tem de tirar o tempo para estudar também”. Isso sempre ecoou em minha mente e até hoje me esforço para colocar esse conselho em prática. Tive também nesse tempo minha tia Luiza e meu tio Lino e o Neto, que me ajudaram bastante.

Morei com minha vó até aos 13 anos, quando fui para outra escola cursar o Fundamental. Pela idade, eu já estava atrasado nos estudos. Normalmente, com essa idade uma criança já está na 7ª ou 8ª série. Mas isso nunca passa na mente dos nossos pais. Para os pais de meninos pobres e sem cultura nos estudos, o importante é ver o filho na escola e fora do mundo de crimes e drogas, não se importam se o filho está atrasado ou não nos estudos. Tive algumas dificuldades com a adolescência nesse período, e isso refletiu nas notas, mas consegui terminar bem a 8ª série.

Posso dizer que até aqui eu era considerado um bom aluno: gostava de estudar, os professores gostavam de mim, aumentei meu interesse por estudar e sempre tirava boas notas.

Fui para o Ensino Médio, no SENAI. Era na época a melhor escola pública da cidade. O que faz um bom aluno? Para mim, digo que foi encontrar outros colegas melhores que eu. Baldomero, Igor, Ivanilson, Nelson, Catarino, Superman, Elielma, Andrea e meu grande e sempre amigo, Kleneson. Soube tempos depois que essa turma foi considerada a melhor do século XX. Para um aluno do interior se projetar intelectualmente não basta ser bom estudante e tirar boas notas, tem que ter oportunidades e saber agarrá-las.

Ao terminar o Médio me deparei com a realidade quase impossível de continuar os estudos. O temível vestibular da Federal. Aí vi que nem vestibular poderia fazer. Meus pais não tinham dinheiro para pagar a inscrição. Com muito esforço, consegui fazer a prova. Não passei. Aí me deparei com outra realidade. Eu não tinha aprendido o bastante para passar. Na verdade, era muito imaturo intelectualmente. Eu cheguei a imaginar que passaria. Cheguei a imaginar que poderia. Esse foi o pensamento que nunca saiu de mim. Eu sempre imaginei que poderia alcançar meus objetivos nos estudos, mas não tinha a ideia de quanto difícil seria isso. Depois de reprovado, o que eu iria fazer? Vender farinha na feira com meu pai ou trabalhar na limpeza urbana com minha mãe? Eu estava entregue. Meus colegas tinham sido amparados financeiramente por parentes e muitos já nem na cidade estavam mais, e para minha decadência, alguns tinham passado no vestibular. Meu sonho de continuar a estudar estava fugindo de mim tão rapidamente quanto minha vontade de continuar. Chorava sozinho. Chorava de vergonha. Realmente não tinha em vistas nenhuma forma de continuar.

Duas coisas me fizeram levantar a cabeça: a crença de minha mãe em mim e minha vontade de continuar a estudar. Que ia ser muito difícil eu nem tinha ideia. A vida em casa não era fácil. Meus pais passavam o dia trabalhando para nos dar alimento. Eu tinha 19 anos e era o penúltimo filho. Minhas irmãs tinham engravidado precocemente. Até que meu pai não aguentou e saiu de casa. Era ele o mantenedor. Passamos muitas dificuldades. Minha irmã Rosa e Simone ajudaram muito nesse período. Rosa sempre foi dedicada aos estudos. Era uma referência para mim e continua sendo. Teve que abdicar por um tempo de seus sonhos para trabalhar e ajudar de alguma forma. Minha mãe continuava como gari e era desse trabalho que vinha nosso sustento. As coisas só pioravam. Nossa casa era de madeira muito velha, na verdade, estava caindo aos pedaços. Dava para morar, mas como meu pai não estava mais em casa e esta era cedida por minha avó, alguns parentes já pensavam em nos despejar.

Bom, aconteceu que, pela intervenção de Deus, vim passar uma semana em Belém, na casa de meu tio: Paulo Miguel, como fiel pastor cristão presbiteriano que era e ainda é, me amparou muito bem. Nesse interim, fui passar uns dias com meus primos Daniel e Daniela, que trabalhavam vendendo livros. Recebi uma proposta e aceitei. Passei a trabalhar com vendas de livros e a morar com meu tio.

E meus estudos? Não tinha tempo de estudar. Trabalhava o dia inteiro. Mas não parei de sonhar. Me matriculei em um cursinho pré-vestibular no turno da noite. Foi um fiasco. Não estudava. Passava fome na rua. Não tinha roupas. Mas decidi não voltar à minha cidade. Vislumbrava maiores possibilidades na capital. Esse era o ano de 2000 para 2001. Seguindo à lógica: não passei novamente no vestibular. Nesse período meus colegas no Médio já estavam na metade da faculdade e outros já sendo aprovados. Baldomero aprovado em Medicina. E eu? Vendendo livros na rua, todos os dias, no sol, chuva e outros intemperes, além da fome. Não vendia muitos livros porque tinha vergonha. Vergonha de entrar na casa de um conhecido e ele me perguntar o que aconteceu. “Você sempre foi um bom aluno, por que deixou de estudar e tá vendendo livros?”. Essa era a frase que mais tinha medo de ouvir. Mas na verdade, essa frase sempre ecoou em minha mente, vinda de meus mais profundos sentimentos de inferioridade. Pensei: eu perdi. Não queria viver assim, mas a necessidade, a mesma que tinha feito meus irmãos saírem de casa ainda crianças para trabalharem em casa de “famílias”, me tinha deixado na mesma situação, só demorou mais tempo para mim.

A empresa faliu, e a casa de meu tio era muito pequena. Tinham dois quartos. Um eu dormia e no outro dormiam ele, a esposa e mais três filhas. No entanto, nunca nesse período, meu tio me tratou indiferente ou parecia que não me queria mais lá. Nunca, ao contrário, sempre me ajudou em tudo. Tenho saudade de nossas conversas. Mas, decidi pedir a ele para eu ir morar

na igreja. A Igreja tinha em seu anexo uma escola e algumas salas de aula, e foi em uma dessas salas que passei a morar. Era o ano de 2001 para 2002. Era o período que Deus estava mudando minha alma. E lá estava eu: desempregado e sem nenhuma perspectiva nos estudos. Parecia mesmo ter acabado meus sonhos de entrar na universidade.

Onde estava minha vontade de estudar? Por que eu não estudava então? Há os que julgam, subestimam e erram. Como humanamente poderia sair daquela situação? Não tem como. Não tinha dinheiro para nada. Nem para me alimentar e por muitas vezes passei fome. Alguns irmãos vendo aquilo me chamavam para comer em suas casas, cito meu tio, Rivaldo e seu Sousa (in memoriam), outros insistiam em dizer que eu não saía daquela situação porque eu não queria.

Sempre fui pacato e também fraco para trabalhos manuais. Temia em trabalhar com coisas pesadas demais. Mas aceitei uma proposta de trabalho do meu tio: agora eu era o funcionário da escola que eu morava, a função era ser limpador. Trabalhava de 6 as 14 horas. Fazia de tudo: limpava o chão, as urinas, as fezes, os vômitos das crianças. Recebia brigas de todos os lados. Não sabia fazer o trabalho direito. Não que eu não o quisesse, mas sim porque não sabia mesmo. Recebia 150 reais por mês. No primeiro mês decidi fazer um cursinho preparatório para o vestibular. Me inscrevi, pagava 60 reais por mês e o restante do valor era para eu sobreviver. Logo, seguiram-me a falta de alimentação, de roupas e desnutrição.

Sabe aquela vontade de estudar que eu tive na 1ª série do Básico, aos 7 anos de idade? Ela voltou como se fosse um leão me devorando por dentro: eu não tinha para onde fugir, ou eu estudava ou ia ser limpador de escola. Não desmerecendo a profissão, mas eu não queria ser para o resto da vida. Eu sabia que se eu estudasse muito poderia passar. Então foi isso que eu fiz. Coloquei como firme resolução que as 14:00 horas eu iria começar a estudar. Me privei de tudo que um jovem da minha idade poderia usufruir. Estudava com afinco até as 18:30, depois andava 3 km até o cursinho que começava as 19:00. Às 22:30 as aulas finalizavam e eu chegava em casa as 23:30. Não tinha dinheiro para transporte. Chegava em casa e a comida desejada não existia, comia o que tivesse e em seguida ia estudar. Estudava grande parte da noite. Por muitas vezes, acordei com os livros e cadernos sobre mim. Dessa parte da minha vida, não tenho saudades. Ainda sinto o cansaço desses momentos.

Bom, estudei tanto que nem percebi meu corpo definhar. Nunca senti nenhuma doença. Nada parecia me colocar limites. Cheguei a pesar 43 quilos. Eu era uma tala. Mas seguia meus horários de estudos religiosamente. Eu estava em um nível muito bom. Ficava em boas colocações nos simulados e também ensinava os colegas.

Fiz a prova da Estadual. Resultado: não passei. Mas não desanimei. Eu sabia que eu iria passar aquele ano. Fiz a primeira fase da Federal: foi muito difícil. Pensei pela primeira vez que não passaria e o terror me acompanhou. Mas passei. Fiz a segunda Fase. Resultado: aprovado. Passei em excelente colocação. A igreja fez uma festa. Todos se alegraram comigo. Minha família no interior se encheu de felicidade. Minha saudosa vó pulava de alegria. Minha mãe se sentiu honrada. Foi especial. Confesso que a fome e tudo o que parecia obstáculo, senti que se desfizeram em fumaça. Para mim não existia melhor sensação. Nem o fato de eu ter sido hospitalizado com estafa físico e mental pareciam alguma coisa para mim. Até hoje agradeço a Deus por tudo isso. Relembrar disso, só me dá a certeza que foi Jesus que me concedeu todas essas coisas. Ele é o Deus que me apareceu quando meus caminhos eram tortuosos. Ele é o Deus que cuidou de mim e me deu forças em tudo. Louvado seja Deus por tudo quanto em minha vida.

As coisas não mudaram muito rápido. Continuei como limpador de escola. Mas isso não importava mais para mim. Eu sabia que estava novamente no trilho dos meus sonhos. Consegui entrar na Federal, era a realização dos meus sonhos.

Então, depois de tudo isso, eu não brinquei em serviço. Estudei Geografia durante 5 anos e me dediquei de tal forma que saí com um dos melhores coeficientes de rendimento da Universidade. Saí da escola que morava, aluguei um kit net, comecei a lecionar, larguei o velho emprego, passei para bolsista do PET, fui chamado para ser bolsista CNPq, fui chamado para integrar o grupo de pesquisa de Geografia Física, arrebentava nos seminários, nas provas, nas pesquisas de campo. Nunca tirei um Regular. Minhas notas pendiam entre Bom e Excelente.

Tudo parecia ir muito bom, mas começou a melhorar. Fui aprovado entre os três no Mestrado do Curso, antes mesmo de terminar a Graduação. Na Metade do Mestrado passei em um concurso público estadual. Terminei o mestrado e comecei a trabalhar. Comprei minha casa, meu carro. E até aqui tem me ajudado o Senhor. Em 2012 passei no concurso Federal para Docente no IFPA. Cargo que tenho a honra de ocupar até o presente.

Em 2014 casei com uma linda mulher. Em 2015 fui aprovado para cursar o Doutorado. Em 2017 nasceu minha espertinha filha Clarisse. E nesse momento aqui estou eu, defendendo minha Tese de Doutorado. Uma realização que nunca sonhei para mim. Nem em meus mais altos pensamentos tinha essa pretensão. Mas Deus fez para mim. Deus me concedeu isso. Que eu O honre todos os dias da minha vida. Obrigado Senhor Jesus. Obrigado por tudo Senhor. Obrigado. Tudo que eu tenho hoje veio do Senhor.

Obrigado mamãe. Obrigado pela senhora não desistir de mim. Não vou nunca esquecer o esforço que a senhora fez para arrumar dinheiro para eu bater aquela foto. Não vou esquecer

o “dicola é de pau de angola” ou o “tenete pegando patente e general o galão”. Isso ainda ecoa em minha vida. Obrigado papai pelo trabalho que o senhor teve para me dá o sustento.

Obrigado irmãos da Igreja Presbiteriana do Conjunto Maguari. Quero agradecer em especial aos irmãos da Igreja Presbiteriana do Una. Em especial ao meu amado e amigo pastor Ciro e sua esposa Sarah. Ao casal Joás e Carla. Aos avós da Clarisse, Antonio e Delma e sua nerd filha. Ao meu diácono preferido José Carlos e sua jovem esposa (outra vó da Clarisse) e a todos os irmãos.

Também quero agradecer grandemente ao meu irmão em Cristo Dilson França. Sempre me dando apoio espiritual e material. Dilson, sua casa é uma casa de benção. Lá eu fui e, ainda sou sempre abençoado. Não vou esquecer este bem que você fez para mim. Muito obrigado meu irmão “bob”.

Também não posso de mencionar meu irmão Renato Braga. Passei toda minha infância ao seu lado. Ele sempre foi meu melhor amigo e protetor, nunca deixava nada de mal me acontecer. Dificilmente você vai lembrar, mas eu nunca vou esquecer uma frase que você me disse em uma das poucas vezes que me chamou para conversar. Eu devia ter uns 12 anos. Tinha faltado umas aulas para jogar “peteca”. Ele chegou comigo e disse: “olha Naldo, tu acha que perder aula pra jogar peteca vale a pena?”. Fiquei uns dias sem jogar. Dai ele me convidou e fomos jogar juntos. Além, um dia ele deixou escapar que um dos motivos de ele ir vender farinha na feira com o papai e a mamãe, era para eu poder estudar pela manhã. Obrigado meu irmão. Sinto não poder te recompensar da forma como você me ajudou.

Quero agradecer de maneira especial à minha esposa Celisse. Foi ela que me incentivou a fazer esse Doutorado. Ela fez minha inscrição e traduziu os textos. E sei que ainda faz muitas orações por mim. Obrigado amor. Desculpa o stress kkk. Quero ter você sempre ao meu lado.

As coisas futuras que ainda me sobrevêm pertencem ao Senhor. Meu alvo é um dia estar nos céus. Enquanto nessa terra eu permanecer, me dá graça para que te sirva como fiel cidadão dos céus, a mim e a minha família. Das tuas mãos eu te dou Senhor.

RESUMO

Apresentação: Amazônia possui extensa Zona Costeira, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do litoral brasileiro, com grande parte da Orla em diferentes níveis de vulnerabilidade física. **Objetivo:** Esta Tese tem como objetivo analisar a vulnerabilidade física à ação do mar, os impactos socioambientais e as estratégias de adaptação relacionados na Orla costeira do Município de Salinópolis, localizado no Litoral Norte, setor de reentrâncias Pará-Maranhão da Zona Costeira Amazônica. **Metodologia:** A Orla foi subdividida em sete subsetores, de acordo com os critérios do Projeto Orla e características fisiográficas e topográficas. Dois índices gerais de vulnerabilidade foram determinados: Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar e o Índice de Vulnerabilidade à elevação do nível do mar (IVC). Para a determinação dos dois índices, usou-se as seguintes variáveis: geológicas, geomorfológicas, declividade da costa, cota topográfica, altura de onda, amplitude de maré, variação da linha de costa, variação do nível do mar atual, utilizando séries temporais e futura, com base no cenário RCP8.5 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Foram aplicados questionários à população e às principais Secretarias Municipais. Os mapas foram confeccionados utilizando imagens orbitais dos anos de 1984, 1994, 2000, 2001, 2004, 2015 e 2016, imagens SRTM e aerolevanteamento, processados no ArcGis 10.3. A análise estatística foi realizada no programa *Statistical Analysis Software SAS 9.4*. Os dados socioeconômicos foram extraídos dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, ano 2010. **Resultados:** cinco setores apresentaram índices Muito Alto e dois Moderado à ação energética do mar. O índice de vulnerabilidade atual à elevação do nível do mar demonstrou três setores da Orla com Baixo, dois em Moderado e dois em Alto. No IVC futuro, cinco setores apresentaram índices Muito Alto, um Alto e um Baixo. Em cenário de um metro de elevação do mar, os principais sistemas ambientais serão afetados, praias, manguezais, dunas, falésias, bem como a população mais vulnerável sofrerão maiores impactos. A aplicação dos questionários demonstrou que a população local consegue identificar os principais impactos e possui suas próprias estratégias de adaptação. A prefeitura não possui no Plano Diretor, nem as secretarias apresentam mecanismos de contenção, intervenção e adaptação de impactos advindos de uma possível subida do nível do mar. **Conclusão:** os elevados índices de vulnerabilidade da ação energética do mar têm provocado erosão ao longo da orla. O cenário de impactos da elevação do mar sobre a orla de Salinópolis requer aplicação de políticas públicas eficientes de adaptação da população mais vulnerável socialmente.

Palavras Chave. Vulnerabilidade. Impacto. Adaptação. Salinópolis. Amazônia.

ABSTRACT

Presentation: Amazonia has an extensive Coastal Zone, with approximately 3,044 km, occupying 35% of the Brazilian coast, with great part of the Orla in different levels of physical vulnerability. Objective: This thesis aims to analyze the physical vulnerability to the action of the sea, the socioenvironmental impacts and related adaptation strategies in the Coastal Zone of the Municipality of Salinópolis, located in the Northern Coast, Pará-Maranhão region of the Amazon Coastal Zone. Methodology: The Orla was subdivided into seven subsectors, according to the Orla Project criteria and physiographic and topographic characteristics. Two general vulnerability indices were determined: Sea Energy Action Vulnerability Index and Sea Level Rise Vulnerability Index (IVC). For the determination of the two indices, the following variables were used: geological, geomorphological, coast slope, topographic dimension, wave height, tidal amplitude, coastline variation, current sea level variation, using time series and future, based on the RCP8.5 scenario of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Questionnaires were applied to the population and to the main Municipal Secretariats. The maps were made using orbital images of 1984, 1994, 2000, 2001, 2004, 2015 and 2016, SRTM images and aerial surveying, processed in ArcGis 10.3. Statistical analysis was performed in the Statistical Analysis Software SAS 9.4 program. The socioeconomic data were extracted from the census tracts of the Brazilian Institute of Geography and Statistics, year 2010. Results: five sectors presented Muto Alto indexes and two Moderate to the energy action of the sea. The current vulnerability index to sea level rise showed three sectors of the Lower Bay, two in Moderate and two in High. In the future IVC, five sectors showed Very High, High and Low. In a one-meter elevation sea environment, major environmental systems will be affected, beaches, mangroves, dunes, cliffs, as well as the most vulnerable population will suffer the greatest impacts. The application of the questionnaires showed that the local population can identify the main impacts and has its own adaptation strategies. The municipality does not have in the Master Plan, nor do the secretariats present containment mechanisms, intervention and adaptation of impacts arising from a possible rise in sea level. Conclusion: the high levels of vulnerability of the sea energy action have caused erosion along the coast. The scenario of impacts of sea elevation on the edge of Salinópolis requires the application of efficient public policies to adapt the most socially vulnerable population.

Key words. Vulnerability. Impact. Adaptation. Salinópolis. Amazon.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 VULNERABILIDADE DIANTE DA AÇÃO ENERGÉTICA DO MAR: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA, BRASIL

Tabela 2.1-	Setores e subsetores de Município de Salinópolis-Pará para análise de vulnerabilidade costeira.	52
Tabela 2.2-	Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica.....	5
Tabela 2.3-	Vulnerabilidade do parâmetro cota topográfica por setores costeiros de Salinópolis.....	60
Tabela 2.4-	Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados durante o período equinocial por Ranieri & El-Robrini (2006) (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 – período menos chuvoso) e suas respectivas vulnerabilidades.	62
Tabela 2.5-	Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral à ação energética do mar por setores em Salinópolis, Amazônia.....	64
Tabela 2.6-	Valores de profundidade local e altura da onda para o cálculo da energia potencial e de propagação das ondas nas quatro praias em análise. E velocidade das correntes.	65

CAPÍTULO 3 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DIANTE DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS-PARÁ

Tabela 3.1-	Subsetores, extensão, área e tipos de Orla Costeira do Município de Salinópolis-Pará.....	87
Tabela 3.2-	Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica.....	89
Tabela 3.3-	Baías flúvio-estuarinas, largura da foz e canais relacionados no Município de Salinópolis.....	93
Tabela 3.4-	Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados entre durante o período equinocial (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 período menos chuvoso e suas respectivas vulnerabilidades.....	95
Tabela 3.5-	Vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar para o parâmetro Cota Topográfica por Setores Costeiros em Salinópolis-Pará.....	106

Tabela 3.6- Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral – IVCG à elevação do NMM em Salinópolis. (GM: Geomorfologia, AO: Altura da Onda, CT: Cota Topográfica, DC: Declividade da Costa, AM: Amplitude de Maré, TE:Taxa de Erosão, NMM: Nível Médio do Mar).....	107
--	-----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1.1- Tendências do nível do mar regional da altimetria por satélite, multimissão (Topex/Poseidon - Jason-1, Jason-1 - Jason-2, Saral, Envisat, ERS-1 e ERS-2)..... 36
- Figura 1.2- Figura 1 2: Monitoramento do nível médio do mar feito por satélite de 1993 a 2018..... 37
- Quadro 1.1- Características dos Meios Geográficos envolvendo a relação sociedade-natureza, concentração de GEE e seus principais impactos..... 41
- Quadro 1.2- Síntese das principais metodologias para análise das mudanças climáticas..... 43
- Figura 1.3- Fluxograma das etapas metodológicas aplicadas na Tese..... 45

CAPÍTULO 2 VULNERABILIDADE DIANTE DA AÇÃO ENERGÉTICA DO MAR: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA, BRASIL

- Figura 2.1- Localização da área de estudo com a subdivisão dos sete setores costeiros (Orla Costeira) em Salinópolis. 51
- Quadro 2.1- Variáveis e valores para a análise do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis..... 52
- Quadro 2.2- Classificação da vulnerabilidade para a variável Geomorfologia em Salinópolis..... 56
- Figura 2.2- Principais formações geológicas da área de estudo: A1 (Grupo Barreiras: arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito; A2 (Depósitos flúvio-marinhos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos). A3 Afloramento da Formação Pirabas 57
- Quadro 2.3- Subsetores costeiros, características geomofológico-geológicas e classificação da vulnerabilidade..... 58
- Figura 2.3- Mapa de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica do Litoral de Rias paraense, NE da Amazônia..... 59
- Figura 2.4- Mapas de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica de Salinópolis, NE da Amazônia..... 59
- Figura 2.5- Perfil topográfico CD em Salinópolis, demonstrando grande extensão compondo a Zona Costeira de Baixa Elevação ao longo dos setores costeiros..... 60
- Figura 2.6- Vulnerabilidade para a variável Declividade em Salinópolis, Litoral NE da

	Amazônia.....	61
Figura 2.7-	Marés e amplitude de marés no período de 2005 a 2016 e durante os meses mais e menos chuvosos amazônicos, para maré alta e baixa de sizígia em Salinópolis, Amazônia.....	63
Figura 2.8-	Mapa síntese do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG) à ação energética do mar em Salinópolis, Pará.....	66
Figura 2.9-	Orla turística do Maçarico (B). Para a construção de aproximadamente 2 km de orla, foi derrubado vegetação de mangue e restinga e a compactação do solo com aterro e concreto. A vegetação de mangue e as dunas que se formaram paralelamente à “Orla” tem funcionado como barreiras de proteção da estrutura ao ataque das ondas.....	67
Figura 2.10-	Ação das ondas e correntes longitudinais e de marés sobre estruturas artificiais: (C) Setor da praia do Atalaia, em Muito Alta Vulnerabilidade, sofrendo ataque das ondas; (D) Setor da praia do Farol Velho em Muito Alta vulnerabilidade, apresentando intenso processo erosivo; (E e F) Setor de Falésia Leste, a ação, principalmente das correntes de marés tem provocado erosão nas vias de circulação.....	68
Quadro 2.4-	Estratégia de adaptação local para Salinópolis.....	70
Figura 2.11-	Medidas de contenção da erosão em Salinópolis: (G) parte central do Setor de Falésia Leste interditado; (H) estrutura de contenção da erosão em madeira e rochas destruídas na praia do Atalaia.....	71
CAPÍTULO 3 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DIANTE DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS-PARÁ		
Figura 3.1-	Localização da área de estudo com a divisão dos subsetores costeiros em Salinópolis-Pará.....	88
Quadro 3.1-	Variáveis e valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC.....	85
Quadro 3.2-	Características das imagens orbitais utilizadas no estudo multitemporal da variação da linha de costa em Salinópolis-Amazônia.....	90
Figura 3.2-	Esquema simplificado de análise em séries temporais para cálculo da constante estimada da variação do NMM em Salinópolis.....	91
Quadro 3.3-	Classificação da vulnerabilidade para o parâmetro geomorfologia em Salinópolis de acordo com os setores selecionados.....	94

Figura 3.3-	Hipsometria e perfil topográfico de Salinópolis, destacando as principais unidades morfológicas.....	94
Figura 3.4-	(A) Destruição de estruturas artificiais na praia do Farol Velho. (B) tentativa de proteção com estruturas de madeira e concreto e fragmento de rocha na praia do Atalaia.....	96
Figura 3.5-	Variação das marés de Sizígia das principais estações maregráficas das Regiões Norte ao Sul do litoral Brasil e em Salinópolis de 2005 a 2016.....	96
Figura 3.6-	(A) Marés e amplitude de marés de sizígia em Salinópolis para o período de 2005 a 2016. (B) Dinâmica sazonal das marés de sizígia para cada ano no período de 2005 a 2016.....	97
Figura 3.7-	Gráficos das variações do NMM em Salinópolis da série temporal de 1951-1956: para análise de Constante Estimada.....	98
Figura 3.8-	Variação do NMM em Salinópolis da série temporal de 2005-2016 para análise de Constante Estimada.....	98
Figura 3.9-	Variação do NMM em Salinópolis. Em azul: variação local para o período (2005 a 2016); em vermelho: projeção de aumento do NMM de 2013 até 2100 (IPCC, 2013); em amarelo: Nível Médio do Mar pelo DHN de 2005 a 2016; em verde: média da maré alta de sizígia (FEMAR); em roxo: média da maré baixa de sizígia (FEMAR).....	99
Figura 3.10-	Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis no ano de 1984.....	100
Figura 3.11-	Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis, ano de 2016.....	100
Figura 3.12-	Projeção de aumento de um metro do NMM até o ano de 2100 em Salinópolis e suas respectivas áreas afetadas quantificadas em m ²	101
Figura 3.13-	Mapa de declividade da costa de Salinópolis-Pará. Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Aerolevantamento COHAB (2000) e imagens SRTM Shuttle Radar Topographic Mission/U.S. Geological Survey (USGS, 2016).....	102
Figura 3.14-	Variação da Linha de costa em Salinópolis nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2015.....	103

Figura 3.15- Variação da Linha de Costa em Salinópolis entre os anos de 1984 e 2015.....	104
Quadro 3.4- Taxa de erosão em m ² /ano em Salinópolis, atual: anos de 1984 a 2015 e futura: projeção de um metro de aumento do NMM para o ano de 2100.....	105
Figura 3.16- Mapa hipsométrico de Salinópolis para determinação da vulnerabilidade do parâmetro Cota Topográfica. Os intervalos altimétricos de 1 a 10 metros constitui a Zona Costeira de baixa Elevação.....	106
Figura 3.17- Mapa síntese das variáveis analisadas por setor de orla e o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral atual e futuro resultante.....	108
Figura 3.18- Hotel construído à 50 metros de distância da linha de espraiamento das ondas em maré alta e a 7 metros do Nível Médio do Mar, localizado na área central da praia do Atalaia.....	109
Figura 3.19- a) Resort em fase final de construção; b) Resort em fase avançada de construção; c) Apartamento modelo do Resort Aqualand em fase inicial de construção; d) Propaganda para venda e área do Resort com obras ainda não iniciadas.....	110
CAPÍTULO 4 IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA	
Figura 4.1- Mapa de localização e divisão dos setores da zona costeira de Salinópolis-Pará.....	123
Quadro 4.1- Unidades geomorfológicas e suas características no Município de Salinópolis-Pará.....	124
Figura 4.2- Fluxograma dos direcionamentos metodológicos para implementação de estratégias de adaptação local à elevação do NMM.....	128
Quadro 4.2- Descrição dos procedimentos para cálculo amostral para a aplicação dos questionários por setores censitários em Salinópolis.....	129
Figura 4.3- Modelo Digital de Elevação do Terreno de Salinópolis.....	130
Figura 4.4- Zona Costeira de Baixa Elevação (área de altimetria entre 0 a 10 m) da Orla costeira do Município de Salinópolis-Pará.....	131
Figura 4.5- Mapa da projeção do Nível Médio do Mar em Salinópolis. Fonte: Elaborado pelos autores com imagem SPOT e Modelo Digital de Elevação do Terreno MDET, utilizando rotinas de Geoprocessamento e a projeção do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC para o cenário RCP8.5, com um metro de elevação do Nível Médio do mar.....	132

Figura 4.6-	Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis no ano de 2016.....	133
Figura 4.7-	Perdas ambientais resultantes da elevação de um metro do NMM na costa de Salinópolis até ano de 2100.....	133
Figura 4.8-	Área em m ² de cada unidade de paisagem afetada pela elevação do Nível do mar em Salinópolis até o ano de 2100.....	134
Figura 4.9-	A) Setor central da Praia do farol Velho: muro de proteção sobre a pós-praia no plano a direita e afloramento de material rochoso devido a erosão da praia no plano de fundo; B) Setor central/oeste da praia do Farol velho: solapamento pelas ondas de estruturas de proteção residenciais construídas sobre a pós-praia e estirâncio ao longo de toda costa; C) Setor central/oeste da praia do Atalaia: Restaurantes construídos sobre a pós-praia e estirâncio; D) Estrutura residencial de proteção contra erosão sendo ultrapassada pelas ondas no setor central/leste da praia do Atalaia.....	135
Figura 4.10-	Síntese dos indicadores de renda, idade e condição de habitação da população de Salinópolis por setores censitários	136
Figura 4.11-	População afetada em Salinópolis pela elevação de um metro do NMM até o ano de 2100.....	137
Figura 4.12-	Expansão urbana de Salinópolis entre os anos de 1984, 2001 e 2016.....	138
Figura 4.13-	E e F) Ocupação de áreas de manguezais por população de baixa renda no Setor de Manguezal II.....	139
Figura 4.14-	Projeção da população de Salinópolis para o ano de 2100, a partir da série temporal de 1991 a 2016 utilizando o programa <i>StatisticalAnalysisSoftware</i> SAS 9.4.....	140
Quadro 4.3-	Estruturas político-institucionais relacionadas à adaptação local: Principais Secretarias de Salinópolis. Fonte: Elaborado pelos autores.....	142
Figura 4.15-	Principais impactos da variação do nível do mar destacados pela população no ano de 2018 em Salinópolis-Pará.....	144
Figura 4.16-	Principais problemas vivenciados pela população a partir da percepção de elevação do mar e suas respectivas estratégias de adaptação à uma possível elevação do NMM por setores costeiros em Salinópolis-Pará.....	144

Figura 4.17-	Correlação por setores de Orla da percepção dos principais impactos e estratégias de adaptação e intervenção frente à possível elevação do NMM em Salinópolis, Zona Costeira Amazônica.....	145
Figura 4.18-	Formas de intervenção e adaptação frente à possível elevação do NMM pela população, pelas principais Secretarias Municipais e pela Defesa Civil na Orla de Salinópolis.....	146
Figura 4.19-	G) Praia do Atalaia: ocupação da zona de estirâncio da praia por bares e restaurantes com assoalhos levantados para evitar destruição de estruturas; H) Casas com assoalho levantado e ruas construídas sobre canal de maré.....	147

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	25
1.1 APRESENTAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DA TESE	25
1.2 SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA ZONA COSTEIRA	28
1.2.1 Do conceito de Mudanças Climáticas	29
1.2.2 Mudanças climáticas e ação humana	32
1.2.3 Nível do mar.....	34
1.2.4 Zona costeira	37
1.2.5 Antropoceno, Meios Geográficos e Mudanças Climáticas	39
1.2.6 Vulnerabilidade costeira.....	41
1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	44
1.3.1 Objetivo Geral	44
1.3.2 Objetivos Específicos	44
1.4 ESTRUTURA DA TESE	44
CAPÍTULO 2 - VULNERABILIDADE DIANTE DA AÇÃO ENERGÉTICA DO MAR: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA, BRASIL	46
2.1 INTRODUÇÃO	47
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	50
2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo	50
2.2.2 Geomorfologia e Geologia	53
2.2.3 Declividade (DC) e Cota Topográfica (CT).....	53
2.2.4 Altura Significativa da Onda.....	53
2.2.5 Amplitude de Maré	54
2.2.6 Cálculo da vulnerabilidade à ação energética do mar	55
2.2.7 Trabalho de Campo	55
2.3 RESULTADOS	55
2.3.1 Geomorfologia (GM)	55

2.3.2	Geologia (GL)	57
2.3.3	Cota Topográfica (CT)	58
2.3.4	Declividade (DC)	61
2.3.5	Altura significativa da onda (AO)	62
2.3.6	Amplitude de Maré (AM)	62
2.3.8	Determinação do índice de vulnerabilidade costeira geral (IVCG)	63
2.4	DISCUSSÃO	66
2.4.1	Proposta metodológica de estratégias de intervenção em Salinópolis	69
2.5	CONCLUSÃO	71
2.6	REFERÊNCIAS	72
CAPÍTULO 3 - ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DIANTE DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS-PARÁ		
79		
3.1.	INTRODUÇÃO	80
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS	84
3.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
3.3	CONCLUSÕES	111
CAPÍTULO 4 - IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA		
119		
4.1	INTRODUÇÃO	120
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS:	122
4.2.1	Localização e características físicas	122
4.2.2	Modelo digital de elevação do terreno (mdet)	125
4.2.3	Projeção do nível médio do mar	126
4.2.4	Perda ambiental	126
4.2.5	Vulnerabilidade e impacto social	126
4.2.6	Projeção da população	127
4.2.7	Adaptação local aos impactos da elevação do nmm	127

4.2.8	Trabalho de campo	129
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO:	130
4.3.1	Modelo digital de elevação do terreno e zona costeira de baixa elevação.....	130
4.3.2	Impactos da elevação o nível do mar sobre os sistemas ambientais naturais.	132
4.3.3	Vulnerabilidade social em Salinópolis.....	135
4.3.4	Estratégias de adaptação local à elevação do nível do mar: estratégia de adaptação local às mudanças climáticas.....	140
4.3.5	Estratégia para Salinópolis: na lei orgânica municipal e no plano diretor	141
4.3.6	Da estratégia de adaptação institucional	142
4.3.7	Das estratégias de adaptação da população.....	143
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
4.5	REFERÊNCIAS	148
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO GERAL		153
5.1	RESULTADOS CHAVES: IMPACTOS E IMPLICAÇÕES	153
5.2	PRIORIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS	155
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
REFERÊNCIAS		158
ANEXOS		162
Apêndice (A).....		163

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL¹

1.1 APRESENTAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DA TESE

No Brasil os conhecimentos acerca dos impactos das Mudanças Climáticas MC sobre a Zona Costeira (ZC) são ainda pontuais e dispersos. A principal conclusão do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) a respeito dos impactos sobre a ZC aponta para a carência de informações relacionadas aos efeitos das Mudanças Climáticas (MC) sobre os ecossistemas costeiros, bem como para a vulnerabilidade desses ecossistemas a tais alterações. A carência de conhecimento sistemático sobre a dinâmica costeira e as informações imprecisas relacionadas à altimetria e batimetria constituem, no momento, a maior dificuldade para que se possa conhecer a vulnerabilidade natural dessa região (PNA/MMA, 2016).

As MC provocam o aumento da temperatura global, o aquecimento dos oceanos e o derretimento de parte do gelo dos polos, como consequência o nível dos mares aumenta, provocando impactos socioambientais principalmente na zona costeira (Ramesh *et al.* 2015). Os impactos da ação energética do mar e da elevação do nível do mar na costa são potencializados pelas características naturais e sociais. Gurnitz (1991), Coelho (2005), Pereira e Coelho (2013), Cutter (2011) e Germani *et al.* (2015) consideram que a vulnerabilidade costeira está condicionada a fatores físicos e sociais, tais como geomorfologia, geologia, regime de ondas e marés, topografia, declividade, variação do nível do mar, renda, escolaridade, sexo, idade, desenvolvimento tecnológico, todas essas variáveis aumentam ou diminuem o grau de vulnerabilidade à ação do mar.

No contexto atual de elevação mundial do nível dos oceanos é de suma importância a identificação, caracterização e análise dos Sistemas Ambientais Naturais e Antrópicos, bem como da dinâmica social para se poder fazer um prognóstico dos possíveis impactos na Orla costeira das cidades. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) projeta em seu 5º Relatório sobre mudanças climáticas AR5/RCP8.5 (IPCC, 2013) que até o ano de 2100 a aumento do nível médio dos oceanos será de aproximadamente 1 metro, esse aumento é comprovado pela análise da altimetria por satélite (AVISO, 2019) que constata aumento no nível dos oceanos desde o ano de 1993, ano que começou o monitoramento

Os impactos socioambientais da elevação do nível dos oceanos nas zonas costeiras têm sido registrados em várias partes pelo mundo. Tagliani *et al.* (2006) e Gutierrez *et al.* (2014) assinalam que a vulnerabilidade costeira aumenta, provocando maiores impactos,

¹ **Artigo aceito** para publicação na revista **Fronteiras: journal of social, technological and environmental science** e modificado para compor o capítulo integrador e base teórica da tese. **Qualis b1 em ciências ambientais.**

principalmente na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), ou seja, setores costeiros com até 10 metros de altitude.

Os principais impactos provocados pelo avanço do mar nas regiões costeiras são a erosão e inundação e fatores como marés altas, dissipação de energia potencial de ondas, declividade da costa e construções irregulares na orla potencializam sua magnitude, aumentando os danos. Na Holanda, considerado país abaixo do nível do mar, centenas de milhares de dólares já foram gastos em Engenharia Oceânica (WENNEKER *et al.* 2016). Na Austrália os impactos são evidenciados nas estruturas físicas e nos ecossistemas marinhos (ABEL *et al.* 2011; WOODROFFE, 2007). No Brasil de acordo com Nobre (2011) ao menos 50% do litoral brasileiro é vulnerável à elevação do nível do mar. Autores com Muehe, 2006; Souza, 2005, 2009 e Bezerra, 2014 registram diversos impactos sobre a zona costeira brasileira.

A certeza do aumento do nível dos oceanos e a ineficiência de ações efetivas de mitigação a nível global das mudanças climáticas evidenciada nas principais conferências internacionais, tem levado algumas cidades a criarem políticas próprias de adaptação local para enfrentarem os impactos. A Local Governments for Sustainability (ICLEI) é a principal associação mundial de governos locais dedicados ao desenvolvimento sustentável, cuja rede global conecta mais de 1.500 governos de estados e cidades de diversos portes, em mais de 100 países. Esta Organização desenvolveu o Guia de Ação local pelo Clima (ICLEI, 2016) e as bases da Adaptação baseada em Ecossistema (ICLEI, 2015), cuja finalidade é apoiar cidades a desenvolverem ações de adaptação sustentáveis diante das MC. No Brasil até o presente, 37 cidades fazem parte da rede ICLEI, no Pará apenas o Município de Tailândia é membro.

As zonas costeiras por possuírem características particulares, quanto à sua dinâmica física, sofrem os impactos diferenciados ao longo da orla, caracterizando vulnerabilidades longitudinais distintas. As particularidades geomorfológicas, geológicas e oceanográficas permitem que se determinem o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à elevação do nível do mar (GURNITZ, 1991). O IVC têm sido uma metodologia utilizada em vários países, cujo índice apoiam governos locais e instituições particulares a formularem políticas de prevenção de impactos.

A partir da dinâmica sistêmica da zona costeira, entende-se que os elementos que compõem as forçantes atmosférica, oceânica, continental, como também a social, agem de forma integrada e diferenciada em diversos setores da costa, formando, modelando e degradando ambientes. A condição dos setores costeiros atuais e futuros é resultado da ação diferenciada e sistêmica dos fatores e agentes físicos responsáveis por sua formação.

A partir desse entendimento o conceito de vulnerabilidade física à elevação do Nível do Mar se torna chave para identificarmos setores com diferentes níveis de instabilidade física ou vulnerabilidade. O equilíbrio dinâmico da costa é expresso em sua estabilidade ou instabilidade, o que revela a diferenciação do índice de vulnerabilidade por setores, espacializada ao longo da costa. Por tanto, é necessário que, em estudo sobre IVC, as variáveis responsáveis pela determinação da vulnerabilidade sejam identificadas e quantificadas.

A determinação do IVC é amplamente utilizada em estudos de zonas costeiras no mundo e no Brasil também já existem trabalhos. Nos Estados Unidos o Serviço Geológico Americano USGS, utilizou essa metodologia para mapear o IVC em quase toda a costa do país. Para Gutierrez et al. (2014) o IVC fornece uma base numérica relativamente simples para seções do litoral em termos do seu potencial. Isso permite que os gestores possam utilizar para identificar as regiões onde os riscos podem ser relativamente elevados. Normalmente, os resultados do IVC são mapas, que destacam os setores onde os fatores contribuem para mudanças no litoral.

As referências internacionais são amplas sobre o tema. Citaremos algumas a seguir, fazendo um pequeno resumo de suas contribuições. Pendleton *et al.* (2005) determina o IVC em áreas de proteção de Nova Iorque e Nova Jersey, com projeções de aumento do nível do mar e localização dos setores mais impactados. Gutierrez *et al.* (2014) levanta uma série de dados de todo o território do Estados Unidos para a determinação da vulnerabilidade a partir da elevação do nível do mar. Abuodha e Woodroffe (2006) fazem uma abordagem geral sobre o estudo de vulnerabilidade e aplicam o IVC à costa Australiana. Esses autores também confirmam a indicação de Gornitz (1991) para acrescentar e alterar os indicadores à metodologia original, visando um detalhamento mais acurado por setores da dinâmica dos agentes costeiros. No Brasil diversos trabalhos também já foram realizados. Muler e Bonetti (2011) aplicaram a metodologia ao norte de Florianópolis. Os autores associaram a ação dos agentes físicos à densidade das construções e determinaram o risco ao IVC entre os anos de 1957 a 2009. Visando elaborar estudo prévio de impacto ocasionados pela elevação do nível do mar na Bahia, Santos *et al.* (2015) classificaram a vulnerabilidade ao longo da costa da Ilha madre de Deus, no interior da Baía de todos os Santos. Germani *et al.* (2015) aplica o IVC, na desembocadura da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul. Este é um importante trabalho, pois faz um estudo das condições atuais de vulnerabilidade e, ao mesmo tempo, classifica na costa o IVC de acordo com as projeções de elevação do nível do IPCC/AR5 (2013). Utilizando-se desses dados, os autores identificaram a variação da linha de costa e quantificaram as perdas de ambientes.

Na costa paraense os trabalhos relacionados à vulnerabilidade à ação do mar ainda precisam avançar e, especificamente sobre a análise da vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar, os trabalhos existentes fazem caracterizações generalizadas, a exemplos dos trabalhos de Valeriano e Rossetti (2008) e MMA (2008). Diante da importância na análise local dos impactos da ação do mar em zonas costeiras pelo mundo e em outras regiões do Brasil, decidiu-se aplicar o IVC para análise na costa do Município de Salinópolis.

Salinópolis é um Município costeiro pertencente à Microrregião do Salgado paraense e na classificação dos macrocompartimentos, pertence o Litoral de reentrâncias do Litoral Norte da costa amazônica (MUEHE; NICOLLODI, 2008). O Município possui 37.421 habitantes e 237,738 km² de área territorial, com densidade demográfica de 157,40 hab/km² (IBGE, 2010). No entanto, por ser um polo turístico do Estado, recebe em períodos sazonais, principalmente nas férias de janeiro e julho, inúmeros turistas que frequentam principalmente suas praias.

Salinópolis possui aproximadamente 54 Km de costa considerando as reentrâncias. Diariamente a ação do mar incide sobre os ambientes naturais e estruturas artificiais, provocando erosão e acreção e, quando essa ação coincide com marés de sizígia, a ação energética do mar intensifica o processo erosivo e provoca inundações, cujos maiores impactos são sentidos pelas populações mais vulneráveis socialmente, ou seja, as que possuem baixa renda e habitam setores de baixa topografia desprovida de condições básicas de saneamento.

1.2 SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA ZONA COSTEIRA

As últimas décadas tem presenciado o aumento da discussão dos efeitos das mudanças climáticas sobre as atividades humanas. No contexto acadêmico mundial atual, diversas pesquisas, incluindo inúmeras temáticas, mostram a relação entre as mudanças climáticas e seus impactos sobre os ecossistemas naturais e estruturas sociais (ALLEY, 2000, 2003; BROECKER, 2000; CONTI, 2005; CROWLEY; BERNER, 2001; DASGUPTA; MEISNER, 2009; DOU; XIAO, 2016; EDWARDS, 2010; GRILLAKIS, 2016; IPCC 2013, 2014; MUEHE; ROSMAN, 2011; NICHOLLS; CAZENAVE, 2010).

Dentre os impactos ocasionados por essas mudanças, destaca-se a subida do Nível do Mar (NM) ou Nível Médio do Mar (NMM) e as consequências na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação ou Coastal Zone of Low Elevation (TAGLIANI *et al.*, 2006), correspondendo aos setores litorâneos abaixo de 10 metros topográficos. Os impactos podem ser observados na dinâmica morfológica, nas constantes inundações, na erosão da linha de costa, na perda de ambientes tais como: praias, dunas e manguezais e até mesmo na dinâmica social. As projeções

do Painel Intergovernamentais de Mudanças Climáticas-IPCC 2013, 2014, em seu Quinto Relatório AR5, sobre o aumento de um metro do Nível do Mar NM até 2100 apontam para um cenário de impactos em inúmeras cidades e ecossistemas costeiros.

As regiões costeiras são naturalmente vulneráveis à dinâmica energética do mar e dependendo da configuração da linha de costa, o seu grau de vulnerabilidade aos fatores físicos pode sofrer variações ao longo dos setores costeiros. Com o aumento do NM, essas regiões, principalmente as de baixa topografia, menor declividade e as mais densamente povoadas, estão vulneráveis, principalmente com inundações e erosão devido à variação nos regimes das marés e clima de ondas e correntes costeiras (GORNITZ, 1991; NICHOLLS *et al.*, 2014). Diante do aumento da vulnerabilidade à elevação do NM, o grau de risco de impacto também aumenta, pois, o risco está diretamente relacionado à vulnerabilidade, à ameaça e à exposição ao longo da costa (ROAF *et al.*, 2009). A determinação da vulnerabilidade e do risco em zonas costeiras é de fundamental importância para gestores criarem políticas de prevenção de impactos e adaptação social e ecossistêmica (BARBI, 2015; COELHO, 2005; ICLEI, 2013, 2014, 2016; PNA/MMA, 2016).

Ante este cenário o objetivo desse artigo é relacionar as mudanças climáticas e seus impactos nas zonas costeiras advindos da elevação do NMM. Para tanto, necessário se faz recorrer a dois conceitos científicos: Meios Geográficos e Antropoceno. O primeiro é um conceito chave para a Geografia, e associa a apropriação da natureza à evolução dos sistemas técnicos pelas sociedades (SANTOS, 2006). Trilhando a linha geográfica, quanto mais as atividades humanas dominam a técnica, maiores são os impactos sobre a natureza. Nesse raciocínio, em relação as mudanças climáticas, há importantes contribuições científicas demonstrando que uma das principais causas do aumento do efeito estufa e do NMM, é provocado pela emissão antrópica de Gases do Efeito Estufa (GEE). O conceito de Antropoceno não é exclusivo de uma Ciência, mas vem sendo utilizado amplamente em diversas áreas. No entanto, a Geologia tem o mérito da sua introdução no debate científico. No geral, Antropoceno é caracterizado por um período, onde a ação humana tem intensificado suas marcas sobre a natureza.

1.2.1 Do conceito de Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas são constantes na história geológica da Terra. No passado, estavam estritamente ligadas a fatores naturais. No Quaternário, por exemplo, estas variações estavam relacionadas a períodos glaciais e interglaciais. Entretanto, desde sua origem há

aproximadamente 4,5 bilhões de anos, a Terra apresenta variações climáticas (SALGADO-LABOURIAU, 1994). É conhecido que durante os 345 milhões de anos da Era Paleozóica (570 milhões a 225 milhões de anos atrás) a temperatura média da Terra era superior à atual. E no Mesozóico, que durou cerca de 160 milhões de anos (225 milhões a 65 milhões de anos), a temperatura média da Terra atingiu 30 a 33°C, mesmo nas regiões polares, onde as temperaturas eram variáveis entre 8 a 10°C. Esse fenômeno ocorreu principalmente durante o Cretáceo, quando os níveis de CO₂ atingiram valores quatro vezes maiores que os do final da Primeira Revolução Industrial (ALLEY 1999, 2000, 2003; OLMOS *et al.*, 2011)

Aerola (2003), Hoffman *et al.* (1998), Petit *et al.* (1999) afirmam que há evidências de glaciações bem mais antigas na escala geológica, datadas do Arqueano e principalmente do Neoproterozóico, quando a Terra passou por longo período frio. De certo que as variações climáticas se apresentam em todas as eras geológicas, porém, segundo Salgado-Labouriau (1994) as mudanças mais bem documentadas ocorreram durante o Quaternário.

No Quaternário ao menos cinco glaciações são bem registradas, todas ocorridas durante o Pleistoceno: DONAU e GUNS no Pleistoceno Inferior; MINDEL, no Médio; RISS e WURM, no Superior. Esta é a sequência mais conhecida encontradas nos Alpes e no vale do rio Reno, mas há outras nomenclaturas, que variam de acordo com o local onde foram encontradas (SALGADO-LABOURIAU, 1994). Na última glaciação com término há mais de 12 mil anos, o nível do mar recuou mais de 100 metros do nível atual, provocando inúmeras mudanças em ecossistemas costeiros.

Não há como não relacionar a atividade solar e a variação de seus parâmetros orbitais às mudanças climáticas. Por isso, a teoria de Milankovitch, que considera os parâmetros orbitais, possui, ainda nos dias atuais, grande importância explicativa para as variações climáticas do passado e futuras. A tendência da atividade solar é um indicador determinante sobre as mudanças climáticas atuais e passadas. De acordo com Benestad e Schmidt (2009) a forçante solar tem se mantido estável desde a década de 1980, e que sua contribuição para o aquecimento, não representa, na atualidade, um fator principal. Autores como (BENESTAD, 2002; BENESTAD; SCHMIDT, 2009; ANNAN; HARGREAVES, 2006; BARD; DELAYGUE, 2007; CAMP; TUNG, 2007; CARSLAW *et al.* 2002; GILDOR; TZIPERMAN, 2003), também apresentaram importantes contribuições sobre a dinâmica solar e sua influência no clima da Terra.

As primeiras preocupações com a dinâmica climática remontam a Antiguidade Clássica. Na Grécia antiga, as considerações de Aristóteles em seu Tratado de Meteorologia, onde

apresenta uma série de interpretações sobre fenômenos relacionados à Terra, à atmosfera, nuvens, tempo, clima e efeitos das alterações climáticas (RASMUSSEN, 2010), também o tema era bem presente na mitologia, existindo o deus do vento (Éolo) e o deus do mar (Poseidon). Na literatura da época, também os elementos climáticos tinham papel importante como, por exemplo, nas obras de Homero e Hesíodo (RASMUSSEN, 2010). Anaximandro (610-546 a.C), discípulo de Tales de Mileto também fez considerações importantes sobre os astros, geometria, oceanos, precipitação, evaporação, ventos.

O estudo dos fenômenos atmosféricos foi uma marca dos filósofos clássicos. No entanto, foi a partir do século XVI que as compreensões científicas do clima tiveram seus estudos aprimorados. Esse é o momento em que as bases do conhecimento científico sobre a atmosfera e o clima terrestre foram estabelecidas e posteriormente firmadas, como indica Leite (2015).

Após o século XVI as contribuições para o conhecimento do clima são diversas e de considerável importância. No século XVII Galileu criou o termômetro. Em 1712 Fahrenheit inventou o termômetro selado de mercúrio e a escala de temperatura. Anos seguintes, por volta de 1742 Celsius aperfeiçoou o termômetro com a medição do peso do ar. Torricelli criou o barômetro, a partir de experiência com o vácuo para medir a pressão atmosférica. Ainda no século XVII, Pascal (1623-1662) fez cálculos para determinar o peso da atmosfera. Robert Hooke (1635-1703) inventou a bomba de ar. O químico e físico irlandês Robert Boyle (1627-1691) demonstrou a existência do vácuo e da pressão do ar. Joseph Black, em 1754 criou a fórmula molecular do dióxido de carbono. Daniel Rutherford, em setembro de 1772 formulou, como tese, a descoberta do Nitrogênio. Ainda no século XVIII Joseph Priestley e Antoine Lavoisier demonstraram, por experimentação, a existência do oxigênio e seu papel na respiração e na vida. Benjamin Franklin demonstrou o deslocamento das tempestades e descreveu os relâmpagos como fenômenos elétricos (LEITE 2015; SHAPIN; SHAFFER, 2011; WALKER 2007).

De acordo com Schmidt e Wolfe (2009), Edwards (2010), Mendonça (2004) e Leite (2015) na segunda metade do século XIX já existia uma importante infraestrutura global para estudos climáticos e meteorológicos, que dispunha de conhecimentos básicos sobre a composição da atmosfera. Instrumentos como termômetro, barômetro e higrômetro, balões meteorológicos sendo inicialmente experimentados, bem como, grande parte do planeta já estava sendo monitorado por estações meteorológicas. A Holanda, em 1860, seguido do sistema inglês em 1861 e do francês em 1863. Já nos Estados Unidos, a formação do serviço federal de meteorologia foi iniciada em 1870.

Ainda no século XIX, em 1824, Joseph Fourier, estudando a temperatura da atmosfera, entendeu que se não fosse pelo aprisionamento de gases, a superfície terrestre seria bem mais fria. Esta conclusão lançou bases para o conceito de efeito estufa, que iria ser posteriormente cunhado por Woods, em 1909. Claude Pouillet, que elaborou estudos embasado em Fourier, fez as primeiras estimativas do equivalente termal da radiação solar fora da atmosfera, a constante solar, e as primeiras estimativas do papel do vapor d'água na retenção do calor na atmosfera (LEITE, 2015).

No século XIX surgiram os primeiros estudos sobre as mudanças climáticas, envolvendo as glaciações e interglaciais. Também datam desse período, as primeiras preocupações sobre as questões ambientais relacionadas às mudanças climáticas. Wahlenberg, em 1818, afirmou que glaciação geral é, na verdade, um fenômeno regional da Escandinávia. Já Esmark em 1824, defendeu a existência de uma sequência global de idades do gelo em função de mudanças na órbita da Terra. A ideia de múltiplas ou da existência de várias glaciações é compartilhada por vários cientistas do século XIX, como Ignace Venetz, na década de 1820, Jean de Charpentier na década de 1830 e Schimper, 1837. Louis Agassiz publicou em 1840 “*Études sur les glaciers*” onde entendia que as glaciações ocuparam grande parte da Terra, inclusive chegando a baixas latitudes. Em 1909, Penck e Bruckner mapearam as glaciações do Quaternário na Europa, publicando “*Os Alpes na era do gelo*” e estabelecendo o modelo geológico de quatro grandes eras do gelo (Gunz, Mindel, Riss e Wurm), cuja interpretação permanece até os dias atuais (LEITE, 2015; REMY; TESTUT, 2006; KRUGER, 2013; WOODWARD, 2014).

1.2.2 Mudanças climáticas e ação humana

As mudanças climáticas precedem a ação humana sobre a natureza. Porém as preocupações com os impactos negativos das sociedades sobre o meio e o indicativo da ação antrópica como causadora, já se faziam presentes no século XIX. O naturalista e geógrafo alemão Alexander Von Humboldt, que viveu nesse período, foi considerado pioneiro nesse debate. Depois de observar os devastadores efeitos ambientais das plantações coloniais no lago de Valência, na Venezuela, Humboldt alertou que os humanos estavam interferindo no clima e, que isso, poderia ter um impacto imprevisível sobre as futuras gerações (WULF, 2016).

Na dimensão institucional, A Convenção para a Preservação de animais, pássaros e peixes da África, em 1900 foi considerado o primeiro acordo mitigador dos impactos humanos sobre a natureza (RIBEIRO, 2008). No entanto, só após a Segunda Guerra Mundial, principalmente a partir da década de 1970, que aconteceram ações relacionadas à política

governamental internacional, mais efetivas. Fazem parte desse contexto, a criação da Organização das Nações Unidas, em 1945, a Conferência de Estocolmo, em 1972 e as Nações Unidas para o Meio Ambiente (Cnumad), em 1992, a Reunião de Joanesburgo, em 2002, o Protocolo de Kyoto, em 1997 e mais recentemente a Conferência das Partes COP 21, ocorrida na França, que apresenta um cenário de aumento da temperatura global em 1,5°C até 2100.

Merece destaque nesse contexto a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC, em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMC) e da Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas UNFCCC, organização que objetiva buscar a diminuição dos GEE na atmosfera, visando diminuir os efeitos das mudanças climáticas sobre ecossistemas e população. Para o IPCC a ação humana tem papel de responsabilidade sobre as alterações climáticas, principalmente com o aumento das emissões de GEE (IPCC/WGI, 2013).

A constatação da interferência humana no clima, principalmente com a emissão de GEE na atmosfera, já foi relatado em diversos estudos. Em um clássico trabalho Petit *et al.* (1999), por exemplo, analisando o núcleo e gelo em Vostok, Antártida, demonstrou que há uma estreita correlação entre a temperatura na Antártida e concentrações atmosféricas de CO₂ e CH₄ nos últimos 420 mil anos. Estudo semelhante foi realizado por Alley (2000), ao indicar, a partir de registros de gelo da Groelândia, que as mudanças abruptas e generalizadas, estão relacionadas à concentração de CH₄ e CO₂ nas camadas de gelo. Sobre o tema também há referências em Alley *et al.* (1999), Alley (2000), Overpeck (2000), Broecker (2000), Boyle (2000), Williams *et al.* (2007).

O ciclo natural dos GEE, principalmente do CO₂ começou a ser perturbado com maior magnitude por volta de 1750, período que marca a Primeira Revolução Industrial (CROWLEY; BERNER, 2001; CONTI, 2005; RIBEIRO, 2008; IPCC, 2013; ZHOU *et al.*, 2015; REN, 2015). Desde então, os níveis desses gases têm aumentado na atmosfera. Para mais dados sobre as concentrações e emissões de GEE na atmosfera pela ação humana, há referências em IPCC (2007); Steffen *et al.* (2011); Juras (2014) e NOAA (2019).

As publicações atuais relacionam diretamente a ação humana e o aumento das emissões de GEE na atmosfera aos impactos das mudanças climáticas e aos impactos destas sobre os ecossistemas terrestres e população. Kang e Cong (2016) demonstram associação entre a produção de Carbono Negro, formado a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão, óleo diesel, biocombustíveis e biomassa), o aumento da temperatura e à possível redução de gelo no Ártico. Resultados semelhantes obtiveram Dou e Xiao (2016), ao concluírem que a concentração de carbono antrópico na atmosfera tem influenciado na diminuição da capa de

gelo (*Ice cap*) nas regiões de alta latitude. Na China, país mais populoso do mundo Yan *et al.* (2016) registraram os efeitos negativos da urbanização sobre as tendências climáticas e a variabilidade local, principalmente no aumento das ilhas de calor e mudança na precipitação. Yang *et al.* (2015) também afirmaram que, em decorrência da ação humana sobre o clima, as montanhas de gelo da China estão mais vulneráveis ao derretimento. Outras referências atuais sobre esse assunto podem ser encontradas em Overland *et al.* (2013), Mcsweeney e Jone (2016), Grillakis (2016), Steininger *et al.* (2016).

1.2.3 Nível do mar

O principal efeito do aumento da temperatura global, causado pela emissão de GEE na atmosfera é a variação do Nível Médio do Mar (OVERPECK, 2006; DASGUPTA; MEISNER, 2009; IPCC 2007, 2013). Literaturas nacionais importantes sobre o tema são Muehe (2003, 2006); Muehe e Rosman (2011), também os dois últimos relatórios do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas são importantes contribuições PBMC (2012, 2014).

Vieira (1981) entende que as variações do nível dos oceanos são resultantes de dois tipos de fenômenos. Os gerais, que provocam alteração eustática, sendo derivados de profundas mudanças climáticas e os locais, que não alteram a posição eustática, mas modificam as relações de altitude entre porções continentais e oceano, os quais são derivados de movimentos isostáticos, tectônicos, deformações do geóide, etc. O relatório do Grupo de Trabalho-WG I do IPCC publicado em seu Quinto Relatório/AR5 de 2013, entende que os fenômenos gerais, podem provocar aumento no Nível Médio do Mar e os fenômenos locais, aumento relativo do Nível do Mar.

Durante o Quaternário houve várias subidas e descidas eustáticas ligadas a fases interglaciais e glaciais, conforme já citado. Há 18.000 anos o mar esteve em fase de descida máxima, com seu nível médio na isóbata atual aproximada de 110 metros (VIEIRA, 1981). O aumento do nível do mar atual é consequência, segundo Nicholls e Cazenave (2010), IPCC (2013) de dois fatores principais: a expansão térmica da água do mar, devido ao aquecimento do oceano e a entrada de massa de água a partir do derretimento do gelo terrestre. Os fatores geológicos também exercem influência sobre a variação do NM (VIEIRA, 1981).

O registro da variação do nível do mar pode ser feito, de maneira geral, de duas formas: através de registro de marés e através de monitoramento por satélite. Os dados de nível médio do mar expostos pelo IPCC (2013) é um conjunto utilizando as duas metodologias. O IPCC também fez a relação entre a variação da temperatura e a elevação do nível do mar. Cabe

ressaltar que essas projeções levam em conta a ação antrópica, principalmente com as emissões de GEE. Portanto, os dados demonstram a possível materialização das ações humanas sobre o meio geográfico, provocando mudanças na temperatura terrestre e conseqüentemente na elevação do nível do mar.

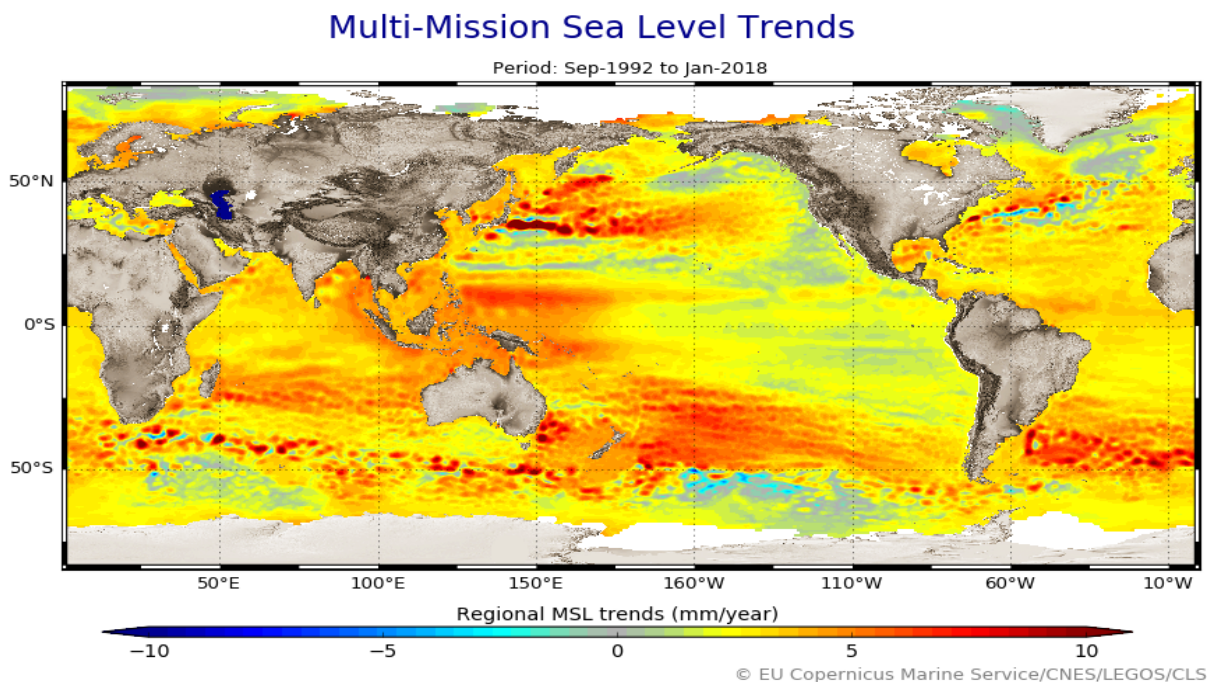
O IPCC (2013) projeta quatro cenários de aumento do NM resultantes das mudanças climáticas: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5. Quando comparamos o aumento médio da temperatura e a variação do NM no primeiro e último cenário, verificamos que: no primeiro cenário, o mais otimista, a temperatura varia entre 0,3° a 1,7° C até 2100, o que causaria a elevação de 26 cm até 54 cm do nível do mar. No pior cenário, RCP8.5, o aumento da temperatura seria entre 2,6 e 4,8°C, com elevação de até 82 cm a 1 metro do nível dos oceanos.

Com aumento do NMM em 1 metro até 2100, as zonas costeiras de todo o mundo sofrerão progressivo impacto físico e social. Em algumas áreas do globo já foram feitas projeções com os cenários do IPCC e o que se tem como resultado é a ocorrência de diversas formas de impactos, principalmente erosão, alagamentos, mudança de salinidade, perdas de ambientes, como praias, dunas e mangues. Tais impactos colocam em risco estruturas humanas, podem provocar migrações e ao mesmo tempo exigem da sociedade e dos governos formas de adaptação do modo de vida. Alguns resultados das projeções da elevação do NM em zonas costeiras são vistos nos trabalhos de Muehe e Neves (2010); Nobre (2008); Nobre *et al.* (2008) Nobre (2011); Nicolodi e Petermann (2010); Souza (2009); Montanari *et al.* (2014); Gutierrez *et al.* (2014); Nicholls e Cazenave (2010).

O Programa Global Sea Level Observing System GLOSS, formado por vários países e do qual também o Brasil participa, fornece dados sobre variação do NM a nível mundial e destina-se ao estudo e monitoramento dos oceanos. Seu objetivo primordial é o estabelecimento de um sistema estratégico permanente para o fornecimento de informação de alta qualidade sobre o nível dos mares e o monitoramento de suas mudanças globais, criado em 1985 pelo Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). Em 1989 foi criado o Programa Global Ocean Observing System (GOOS) englobando diversos programas, dentre eles o GLOSS. A nível mundial, os dados são armazenados e cedidos pelo Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, 2017).

A altimetria por satélite mostra que o Nível do Mar não está variando uniformemente, regiões como as do Pacífico Ocidental, o nível do mar subiu até três vezes mais rápido que a média global desde 1993 (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010). A Figura 1 mostra a tendência do nível do mar registrado por satélite e as variações em diversas partes do Globo.

Figura 1.1- Tendências do nível do mar regional a partir da altimetria por satélite, multi-missão (Topex / Poseidon - Jason-1, Jason-1 - Jason-2, Saral, Envisat, ERS-1 e ERS-2).

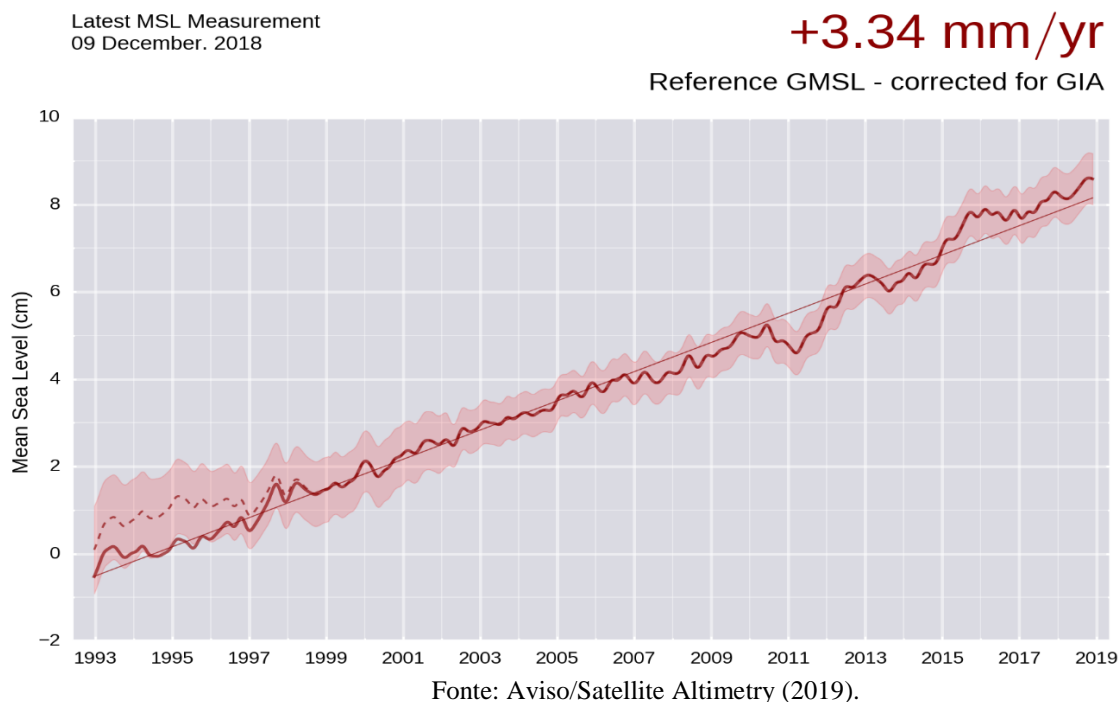


Fonte: Aviso/Satellite Altimetry (2019).

De acordo com Levitus *et al.* (2009) e Lyman *et al.* (2010) a temperatura dos oceanos registrada pelos navios em diferentes locais tem mostrado aumento significativo desde a década de 1950. Em média durante o período de 1993 a 2010, o aquecimento dos oceanos e o derretimento das geleiras (*Ice Sheets*) contribuíram aproximadamente por 70% para o aumento dos NMM (CHURCH *et al.*, 2011; CAZENAVE; REMY, 2011).

A média global de aumento do NMM varia regionalmente e os principais fatores responsáveis são as mudanças em larga escala na estrutura de densidade dos oceanos e mudanças associadas na circulação oceânica (AVISO/ALTIMETRY, 2017). Bindoff *et al.* (2007) afirmam que as maiores mudanças regionais nas tendências do nível do mar resultam de variações nas temperaturas do oceano (expansão térmica não uniforme), mas em algumas regiões, as mudanças na salinidade da água também são importantes. Embora o nível médio do mar tenha permanecido quase estável desde o final da última deglaciação há aproximadamente 3.000 anos (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010), de 1993 até meados de 2018 a altimetria por satélites registrou um aumento médio de 3,34 mm anuais ou 8,64 cm para o período (AVISO/ALTIMETRY, 2019) (Figura 2).

Figura 1.2- monitoramento do nível médio do mar feito por satélite de 1993 a 2018.



De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas PBMC (2012) estima que a elevação do NM para algumas cidades brasileiras sejam as seguintes: Recife (1946-1987): 5,4 cm/déc (cm por década); Belém (1948-1987): 3,5 cm/déc; Cananéia-SP (1954-1990): 4,0 cm/déc; Santos-SP (1944-1989): 1,1 cm/déc.

1.2.4 Zona costeira

Para Ramesh *et al.* (2015) a zona costeira é caracterizada, principalmente, por ser um compartimento global de significância para ciclagem e processos biogeoquímicos, para habitação humana e de grande importância para economia. Crossland *et al.* (2005) definem zona costeira como a área de transição relativamente estreita, que compreende um conjunto de ecossistemas únicos e adaptados a altas concentrações de energia, sedimentos e nutrientes que estimulam a alta produtividade biológica e diversidade de habitats e espécies, incluindo comunidades de plantas e animais, bacias hidrográficas, estuários e mares costeiros, estendendo-se para a plataforma e também para o continente. Sua dinâmica é resultante das forçantes humanas e físicas que a modelam continuamente.

Para os limites continentais e marítimos Nicholls e Small (2002) sugerem que a extensão da zona costeira seja de 100 m de altitude do nível mar e 100 km da linha de costa para o oceano. Uma outra delimitação é proposta pelo Projeto Interações Terra-Oceano na Zona Costeira, sigla

em inglês LOICZ² que define a zona costeira como área que se estende desde as planícies costeiras até o limite exterior do da Plataforma Continental, correspondendo aproximadamente à região que foi inundada e exposta durante as flutuações do nível do mar no Quaternário tardio.

No Brasil os limites da Zona Costeira são definidos pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC II (instituído pela Lei nº 7.661/1988 e regulamentado pelo Decreto nº 5.300/2004). O dispositivo legal considera a ZC como patrimônio nacional, compreendendo o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo uma faixa marítima, que se estende mar adentro, até 12 milhas marítimas (22,2km). Compreende a totalidade do Mar Territorial e uma faixa terrestre, formada pelos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Costa (MMA, 2008). Os limites internos são notadamente delimitações políticas e, na atualidade, é composta por 17 Estados e 463 Municípios, tendo população estimada em cerca de 26,58% (IBGE 2010, 2011).

No geral as costas do mundo formam uma estreita zona de interface entre o mar e o continente, em que grandes e crescentes proporções da população humana e da atividade econômica global estão localizadas. A Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE) (Tagliani et al. 2006), que abrange 2% da área terrestre, é o lar de 600 milhões de pessoas (10% da população total). E é nessa faixa com 13% da população urbana total do mundo, que corresponde ao limite topográfico/altimétrico de 10 metros (RAMESH *et al.*, 2015).

O aumento do NM pode produzir impactos diretos e indiretos na ZCBE, segundo Klein e Nicholls (1999), Muehe e Neves (2010) os principais impactos diretos são os seguintes: a probabilidade de frequência maior das cheias, a erosão, a inundação e a perda de ambientes. Tais impactos afetam indiretamente as populações que habitam esses locais, principalmente as mais vulneráveis social e economicamente e que dependem das atividades econômicas relacionadas ao mar e ao turismo.

Nicholls e Cazenave (2010), Nicholls *et al.* (2014) apresentam uma escala de valores para avaliar os impactos na ZCBE resultantes da elevação do NM. Quando acrescidos de uma avaliação a partir da escala temporal, esses impactos podem ocorrer a curto ou longo prazo. No primeiro caso ocorre a submersão de áreas costeiras em contato direto com o mar e como consequência desse processo acontece a inundação e intrusão de águas subterrâneas e

² The Land–ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) foi estabelecido em 1993 para fornecer base de dados e conhecimento científico de como as mudanças no uso da terra, variação do nível do mar e mudanças climáticas alteram os sistemas costeiros. O programa engloba mais de 80 países e possui centenas de publicações, incluindo artigos e livros sobre o tema.

superficiais, principalmente canais de marés; a longo prazo, ocorre o ajustamento da costa às novas condições climáticas e oceanográficas, como consequência, o processo erosivo irá se intensificar, ocorrerá perdas de ambientes como ecossistemas de manguezais, marismas e as dunas irão diminuir ou se ajustar, o mesmo acontecendo com as praias, dependendo da quantidade de sedimentos que transportam. Os autores também argumentam que os impactos físicos precedem ou coexistem com os impactos sociais, afetando atividades econômicas e estruturas físicas. Cutter (2011) entende que a ação dos elementos físicos pode aumentar a vulnerabilidade social, aumentando o potencial dos impactos.

Para Nicholls *et al.* (2014) o aumento global do nível do mar é um dos impactos mais marcantes das mudanças climáticas induzidas pelo homem, embora a magnitude da mudança futura permaneça incerto. A forçante antrópica e seus efeitos sobre o aumento da temperatura e, consequente elevação do nível do mar é parte central dos últimos relatórios do IPCC (IPCC, 2007, 2013, 2014).

1.2.5 Antropoceno, Meios Geográficos e Mudanças Climáticas

O conceito de antropoceno é utilizado nas ciências para designar os impactos significativos e crescentes das atividades humanas na Terra e na atmosfera (CHIN *et al.*, 2016). É justamente a pressão antrópica sobre o meio físico, imprimindo marcas, na maioria, em forma de impactos negativos, que traça uma nova linha do tempo na história ambiental indissociável da ação humana.

O termo antropoceno foi cunhado pela primeira vez para designar uma nova época geológica por Paul Crutzen e Eugene Stoermer nos anos de 2000 e 2002, respectivamente. Esses autores propuseram que nos últimos 140 anos a ação humana sobre o ambiente global tornou-se significativa o suficiente para justificar a transição do Holoceno e o reconhecimento formal de um novo período, o "Antropoceno". A data de transição do Holoceno para o Antropoceno coincide com a Primeira Revolução Industrial, ou seja, com a introdução das máquinas no processo produtivo, expansão demográfica e maior modificação das paisagens.

Smith e Zeder (2013) propõem um limite de transição Holoceno-Antropoceno a 11.000 a 9.000 anos Antes do Presente. Porém, entendem que as datas iniciais para esse limite estão espalhadas, com diversas evidências, que podem ser datadas pelas mais diversas ciências entre 13.800 anos atrás até aproximadamente 1750.

Das abordagens sobre a transição do Holoceno para o Antropoceno, três se referem às mudanças na atmosfera pela emissão de GEE, resultantes da ação humana, principalmente sobre os processos de produção, quer seja na agricultura, quer com a evolução de tecnologias.

As evidências para o Antropoceno após o ano de 1945 apontadas por Monastersky (2015) coincidem com a instituição do Meio Técnico Científico-Informacional, no qual evidencia-se claramente a sobreposição da técnica sobre a natureza e conseqüentemente os inúmeros impactos sobre as várias unidades físicas, que repercutem em desastres e danos de natureza física e social.

Ramesh *et al.* (2015) afirmam que as zonas costeiras são atualmente, na perspectiva do Antropoceno, as áreas mais impactadas pela ação antrópica, principalmente quando levamos em consideração a ação humana como responsável pelas mudanças climáticas globais. Para esses autores, no Antropoceno a sociedade humana é a maior catalisadora de mudanças, impactando e modificando os processos costeiros, e é justamente nessa zona que os reflexos da ação humana modelando o clima global, são mais visíveis.

A elevação do nível do mar é, de fato, o reflexo mais evidente das mudanças climáticas na zona costeira, visto que à medida que os níveis dos mares flutuam, a morfologia de uma zona costeira irá modificar as condições de contorno de outros processos costeiros, tais como: circulação, ondas, marés e armazenamento de sedimentos das planícies de inundação (SYVITSKI *et al.*, 2005).

A delimitação de 1950 para o Antropoceno, coincide também com a instituição o Meio Técnico-Científico-Informacional, marcado pela revolução em todos os setores de tecnologia, com a manipulação mais intensa da natureza e decisiva impressão humana sobre as paisagens, sem nenhum precedente semelhante na história das sociedades, já a data de 1750 proposta por Crutzen e Stoermer (2000) e Zalasiewicz *et al.* (2010) coincide com a Primeira Revolução Industrial ou como Meio Técnico. Porém, o fator determinante que demarca essa transição para os autores, é o aumento da concentração de Gases do Efeito Estufa na atmosfera, principalmente CO₂ e CH₄. Quadro 1.

Quadro 1.1- Características dos Meios Geográficos envolvendo a relação sociedade-natureza, concentração de GEE e seus principais impactos.

Meios Geográficos	Relação homem-natureza	Concentração de GEE e Impactos
Meio Natural (anterior a Primeira Revolução Industrial)	A manipulação da natureza com sistema técnico existente não ocasionava degradação, visto que somente era retirado o necessário para a subsistência humana, ou seja, a relação era de harmonia.	Inferior a 277 ³ ppm ⁴ (em volume)
Meio Técnico (da Primeira Revolução Industrial até a Segunda Guerra Mundial)	A domínio da técnica após a Primeira Revolução Industrial, ocasiona a subordinação da natureza e materializa no espaço diversas formas de degradação	Atinge 277 ppm em 1750; 279 em 1775; 283 em 1800; 284 em 1825; 285 em 1850; 296 em 1900
Meio Técnico-Científico-Informacional	Após a 2ª Guerra Mundial e principalmente a partir da década de 1970 a técnica subordina os processos naturais de forma mais intensa.	Em 2005, 375 ppm. A partir de 2016 até o presente se mantém acima de 408,16 ppm (NOAA, 2019)

Fonte: Elaborado pelos autores com informações de SANTOS (2005, 2006 e 2012) e dados de Steffen et al. (2011) e NOAA (2019)

Para Santos (2005, 2006) a vulnerabilidade ambiental é aumentada cada vez que há desenvolvimento técnico e econômico. Isso parece uma contradição, visto que o desenvolvimento técnico deveria ter como resultado uma forma mais harmoniosa e menos impactante na relação homem-natureza. No entanto, o que se observa no mundo globalizado é a intensa degradação dos elementos da natureza pelos processos produtivos do Capitalismo, cujas consequências já se observa nas mudanças das principais variáveis climáticas e consequentemente sobre as populações mais vulneráveis.

1.2.6 Vulnerabilidade costeira

O conceito de vulnerabilidade tem sido aplicado em diversas áreas nas Ciências, indicando principalmente situação de fraqueza ou incapacidade de reação ante a eventos que podem ocorrer. A vulnerabilidade costeira é considerada a condição de determinados setores

³ A variabilidade de concentração de CO₂ no Holoceno variou de 260 a 285 ppm até o ano de 1850 (Steffen et al. 2011). A partir de 1900 a concentração chegou a 296 ppm, ultrapassando consideravelmente os limites do Holoceno.

⁴ Partes por milhão (ppm) é uma unidade de medida de concentração que, neste contexto, significa que a cada 1 milhão de moléculas na atmosfera, 277 são de dióxido de carbono (CO₂).

da costa ante a ação de fatores e agentes de natureza física, tais como as ondas, as marés e a elevação do nível do mar (GORNITZ, 1991). A ocupação humana do litoral, principalmente nos países subdesenvolvidos, tem concentrado uma parcela considerável da população pobre, que na análise de Cutter (2011) são consideradas populações vulneráveis, ou seja, tal condição de pobreza, que incluem péssimos indicadores de renda e educacional, os impedem de reagir tanto politicamente, quanto a eventos naturais.

Boruff *et al.* (2005) consideram que há poucos trabalhos no mundo que fazem a interação entre indicadores sociais e físicos, sendo uma das dificuldades, a necessidade de um referencial metodológico mais ajustado. No ano de 2006 a artigo intitulado Vulnerability de Adger (2006) considera o conceito de vulnerabilidade como a condição de suscetibilidade a eventos que podem causar perdas. O autor faz uma tentativa metodológica para integrar a vulnerabilidade social e ambiental. No ano de 2011, Cutter (2011) sintetiza os conhecimentos anteriores sobre vulnerabilidade, na tentativa de lançar bases para pesquisas locais de análise da vulnerabilidade social aos fatores de risco ambiental e aos eventos extremos, qual chama de “Ciência da Vulnerabilidade”

Especificamente sobre a vulnerabilidade costeira Gornitz (1991) costeira é considerada a condição de determinados setores da costa ante a ação de fatores e agentes de natureza física, tais como as ondas, as marés e a elevação com nível do mar (GORNITZ, 1991). Este conceito tem sido utilizado para a classificação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) em vários setores do litoral mundial.

Abuodha e Woodroffe (2006) fazem uma revisão e avaliação das metodologias já utilizadas na zona costeira considerando as mudanças climáticas. No entanto, destaca o IVC como uma metodologia de fácil aplicação. O IVC tem suas primeiras bases metodológicas traçadas no ano de 1989. No ano de 1991, Gornitz propõe a metodologia, considerando a vulnerabilidade dos setores costeiros condicionada à fatores físicos locais e às implicações das mudanças climáticas, principalmente a variação relativa do nível do mar. O Quadro 2 sintetiza as principais metodologias já públicas para análise da vulnerabilidade às mudanças climáticas.

Quadro 1.2- Síntese das principais metodologias para análise das mudanças climáticas

Índice	Aplicação Geográfica	Variáveis consideradas	Referência
Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI)	USA	Tipos de rocha, relevo, mudança relativa do nível do mar, variação da linha de costa, amplitude de maré e altura máxima da onda	Gornitz and Kanciruk (1989), Gornitz (1991), Gornitz et al. (1991)
Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI)	USA	Geomorfologia, erosão da linha costeira e acréscimo, declive costeiro, mudança relativa do nível do mar, altura média da onda e média da amplitude das marés	Thieler and Hammer-Klose (2000)
Vulnerabilidade social índice (SoVI)	USA	Análise de componentes principais de Dados sociais derivados dos censos	Boruff et al. (2005)
Social costeira Pontuação de vulnerabilidade (CSoVI)	USA	Combinação de CVI e SoVI	Boruff et al. (2005)
Índice de sensibilidade (SI)	Canadá	tipo de rocha, relevo, nível do mar mudança, litoral deslocamento, amplitude de maré e altura máxima da onda	Shaw et al. (1998)
Perigo de erosão índice	Canadá	SI mais exposição, tempestades nível de água, declive	Forbes et al. (2003)
Risco Natural	África do Sul	Localização, infraestrutura (econômica valor), perigo	Hughes and Brundrit (1992)
Índice de Capacidade Sustentável (SCI)	Pacífico Sul	Vulnerabilidade e resiliência de Natural, cultural, institucional, Infraestrutura, econômica e fatores humanos	Yamada et al. (1995)
Índice de Sensibilidade	Ireland	Declividade da costa, características costeiras, estruturas costeiras, acesso, uso da terra	Carter (1990)
Índice de Vulnerabilidade	UK	Frequência de eventos de perturbação, tempo de relaxamento (recuperação)	Pethick and Crooks (2000)

Fonte: Elaborado pelo autor

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Diante da necessidade de estudos socioambientais relacionados à dinâmica do mar na costa paraense e, em conjunto com o Grupo de Estudos Paisagem e Planejamento Ambiental (GEPPAM) a nível regional e a recente associação no âmbito nacional com a Rede de Pesquisadores em Geografia (Socio) Ambiental RPG(S)A e visando contribuir com para o conhecimento da dinâmica costeira da Amazônia, a presente Tese de doutorado apresenta os seguintes questionamentos: (1) Como estão classificados os sete subsetores costeiros de Orla em Salinópolis quanto à vulnerabilidade à ação energética do mar? (2) Como estão classificados os subsetores costeiros de Orla em Salinópolis quanto ao Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à elevação do nível do mar em 1 metro até o ano de 2100 de acordo com o cenário RCP8.5 do IPCC (2013)? (3) Quais os impactos socioambientais e as políticas de adaptação resultantes da elevação do nível do mar em Salinópolis para o mesmo cenário RCP8.5. Para tanto, tem-se os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Determinar a vulnerabilidade socioambiental e os impactos relacionados à ação do mar no Município de Salinópolis, considerando sua ação energética e a projeção do cenário RCP8.5 do IPCC (2013).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Objetivo 1: Classificar a vulnerabilidade nos setores costeiros selecionados em Salinópolis quanto à ação energética do mar e propor estratégias de adaptação;
- Objetivo 2: Determinar o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à elevação do nível do mar usando o cenário RCP8.5 do IPCC (2013);
- Objetivo 3: Quantificar as perdas ambientais da elevação de 1m do nível médio do mar até o ano de 2100 de acordo com o cenário RCP8.5 do IPCC (2013), bem como identificar as principais estratégias de adaptação local, ou seja, da população e do Governo local diante da elevação do nível do mar em Salinópolis.

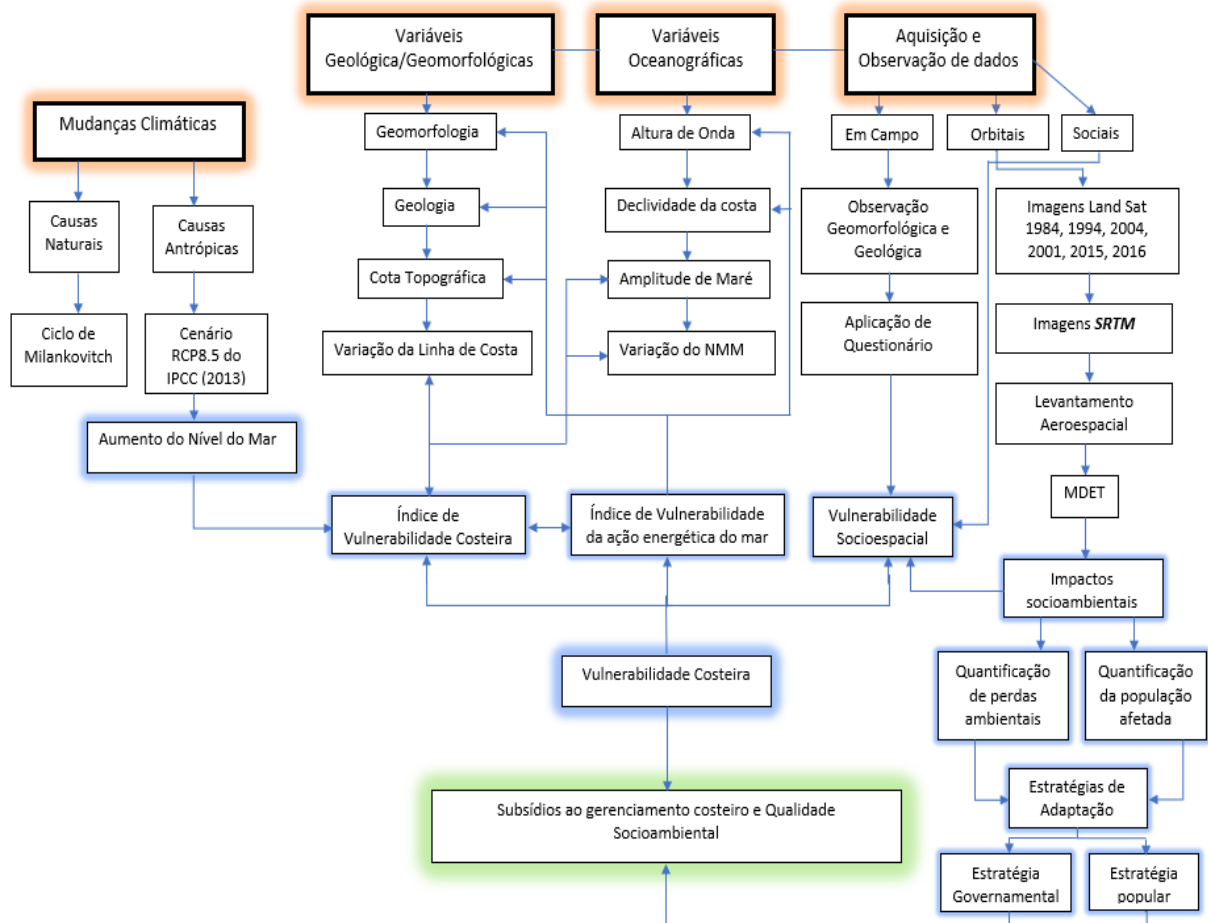
1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho de Tese foi organizado em três capítulos, no formato de artigos (Capítulos II, III e IV) e dois capítulos integradores (Capítulos I e V) No CAPÍTULO II analisou-se a vulnerabilidade à ação energética do mar baseada em parâmetros geológicos, geomorfológicos

e oceanográficos. No CAPÍTULO III determinou-se o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à elevação do nível do mar, utilizando, além dos parâmetros geológicos, geomorfológicos e oceanográficos, a dinâmica física da variação da linha de costa e o cenário RCP8.5 do IPCC (2013). No CAPÍTULO IV foram quantificadas as perdas ambientais decorrentes de 1m de elevação a do mar, projetado em Salinópolis a partir do cenário RCP8.5 do IPCC (2013) e da construção do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) de Salinópolis, ainda nesse Capítulo, foram identificados os impactos sobre a população, bem como as principais estratégias a serem utilizadas por esta e pelas principais Secretarias Municipais.

A hipótese testada para a Tese é: a ação do mar, sua ação energética e a projeção de cenário de aumento do seu nível, tem provocado mudanças na linha de costa da Orla de Salinópolis, configurando, a partir da ação sistêmica dos fatores geológicos, geomorfológicos, oceanográficos e antrópicos, dinâmicas costeiras diferenciadas, que materializam índices distintos de vulnerabilidade e impactos socioambientais ao longo dos setores de Orla classificados para análise em Salinópolis, bem como, tais impactos tem levado à população a criarem suas próprias estratégias de adaptação.

Figura 1.3- Fluxograma das etapas metodológicas aplicadas na Tese.



Fonte: Elaborada pelo autor

CAPÍTULO 2 - VULNERABILIDADE DIANTE DA AÇÃO ENERGÉTICA DO MAR: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA, BRASIL⁵

RESUMO

Apresentação: Amazônia possui extensa Zona Costeira, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do litoral brasileiro, com grande parte da Orla em diferentes níveis de vulnerabilidade física. Objetivo: Este artigo analisou a vulnerabilidade à ação energética do mar no Município de Salinópolis na Zona Costeira Amazônica a partir dos agentes físicos: geológicos/geomorfológicos e oceanográficos. Metodologia: Na metodologia utilizada foram selecionadas seis variáveis físicas: Geologia, Geomorfologia, Declividade da Costa, Cota Topográfica, Altura da Onda e Amplitude de Maré. Subdividiu-se a Orla costeira da área em sete setores, determinados a partir dos parâmetros do Projeto Orla. Os índices de vulnerabilidade de cada variável foram determinados com base em valores pré-estabelecidos na literatura nacional e internacional e modificados a partir das características regionais e locais da área de estudo. Foram elaborados mapas no Software ArcGis 10.3 com imagens SPOT, de resolução de 2,5 metros e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para análise da declividade e cota topográfica. Resultados: Para cada setor foi calculado um valor do índice de vulnerabilidade, de acordo com as variáveis. Foi realizada uma média aritmética para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG. Dos sete setores, cinco apresentaram vulnerabilidade à ação energética do mar Muito Alta e dois Moderada. Conclusão: A elevada vulnerabilidade costeira evidencia a necessidade de iniciativas de planejamento para áreas ocupadas em processo erosivo e considera-se que a metodologia pode ser replicada para outros locais da costa amazônica.

Palavras-Chave: Amazônia. Vulnerabilidade. IVC. Impactos.

ABSTRACT

Abstract: Presentation: Amazonia has an extensive Coastal Zone, with approximately 3,044 km, occupying 35% of the Brazilian coast, where innumerable ecosystems are located in different levels of physical vulnerability. Objective: This article analyzes the vulnerability to the energy action of the sea in the Municipality of Salinópolis in the Amazon Coastal Zone from the physical agents: geological / geomorphological and oceanographic. Methodology: Six

⁵ **Artigo aceito** para publicação no **Journal of integrated coastal zone management / revista de gestão costeira integrada. qualis B1 em Ciências Ambientais.**

physical variables were selected: Geology, Geomorphology, Coast Declivity, Topographic Dimension, Wave Height and Tidal Amplitude. The coastal border of the area was subdivided into seven sectors, determined from the parameters of the Orla Project. The vulnerability indexes of each variable were determined from pre-established values in the national and international literature and modified from the regional and local characteristics of the study area. Maps were elaborated on the ArcGis 10.3 Software from SPOT images, 2.5-meter resolution and SRTM images (Shuttle Radar Topography Mission) for analysis of slope and topography. Results: For each sector a value of the vulnerability index was calculated according to the variables and, finally, an arithmetic mean was determined for the determination of the General Coastal Vulnerability Index-IVCG. Of the seven sectors, five presented vulnerability to the energy action of the Sea Very High and two Moderate. Conclusion: The high coastal vulnerability evidences the need for planning initiatives for areas undergoing erosion, and it is considered that the methodology can be replicated to other sites on the Amazon coast. **Keywords:** Amazon. Vulnerability. IVC. Impacts.

2.1 INTRODUÇÃO

A Amazônia sempre desempenhou papel de importância global no que tange às questões ecológicas, ambientais e sociais. Os conhecimentos sobre a importância da vegetação e da hidrografia para o equilíbrio dinâmico ecossistêmico, bem como da dinâmica climática já foram discutidos no passado por autores como Neto (1976), Sioli (1985), Ab'Saber (2000, 2003, 2004), Gonçalves (2008), Stenberg (2012), reconhecidos por serem grandes defensores das potencialidades paisagísticas amazônicas ante a exploração antrópica da natureza.

Pela grande importância a nível global, nacional e regional a Amazônia continua sendo uma fonte de estudos para pesquisadores dos mais diversos ramos do conhecimento. Os potenciais impactos socioambientais atualmente existentes são resultantes, de maneira geral, da forçante antrópica sobre o meio físico, que tem provocado a quebra do equilíbrio dos sistemas ambientais naturais, ao que Becker (2004) chama de legado histórico de exploração humana sobre a natureza amazônica.

A Região Amazônica possui extenso litoral, com aproximadamente 3.044km, ocupando 35% do total do litoral brasileiro (NASCIMENTO JÚNIOR, 2016; MMA, 2008), onde se encontram inumeráveis ecossistemas e setores costeiros em diferentes níveis de vulnerabilidade, quando se consideram as forçantes antrópicas e a ação dos fatores físicos e cuja ocupação ocorre desprovida do necessário conhecimento científico dos principais fatores

e agentes oceanográficos/hidrográficos, meteorológicos/climáticos, geológicos/geomorfológicos responsáveis pela dinâmica física de formação e equilíbrio ambiental e do modo de vida das populações já residentes

A nível mundial a falta de conhecimento da dinâmica física das zonas costeiras, tem levado as populações a construir suas habitações próximo do mar. Esse fator tem potencializado o fenômeno da erosão, causada pela ação energética de agentes físicos de naturezas oceanográficas e meteorológicas. As zonas costeiras mundiais são extremamente vulneráveis à ação energética do mar, devido a fatores como exposição direta aos agentes oceanográficos, áreas densamente povoadas e habitat de inúmeras espécies que formam milhares de ecossistemas (GORNITZ, 1991; GOOSSE, 2010; MUEHE; ROSMAN, 2011; TAGLIANI *et al.*, 2006).

Ao longo do litoral brasileiro os impactos da ação energética do mar, provocando principalmente erosão são bem documentados na literatura nacional. Autores como Souza et al. (2005), Muehe (2005, 2006), Muehe e Nicolodi (2008) e Souza (2009) fazem análise do processo erosivo no Brasil com base em fatores oceanográficos e características fisiográficas da costa, e consideram as marés, ondas e correntes como os principais agentes da dinâmica física. As mesmas análises apontam que os processos de retrogradação predominam sobre a progradação. Muehe (2006) destaca também que a principal causa desse predomínio é atribuída à intervenção do homem relacionada à urbanização e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas.

A problemática da erosão em costas urbanizadas conduz a respostas de contenção da orla, como muros, espigões, sacos de areia, entulho e pedras, árvores, etc. Ante ao paradoxo de causa e efeito, Muehe (2005) e Souza (2009), entendem que a erosão que essas estruturas sofrem, são indicadores de eventos erosivos mais intensos, provocados pela ação energética dos agentes físicos formadores e modeladores da costa. O mesmo entendimento permeia o estudo do Ministério do Meio Ambiente do ano de 2006 (MUEHE, 2006) ao analisar os processos de erosão e progradação do litoral brasileiro.

Na Zona Costeira Amazônica (ZCA) os impactos da ação antrópica sobre os sistemas naturais são potencializados pelas características de vulnerabilidade física da costa. Os principais fatores de vulnerabilidade física à ação energética do mar no litoral amazônico são: dissipação diferenciada de potência de ondas, altas amplitudes de marés, baixa cota topográfica, baixa declividade da costa, características geológico-geomorfológicas e configuração fisiográficas de alguns setores, como as “Rias” amazônicas. Verifica-se que grande parte do

litoral amazônico ainda se encontra preservado (Prost *et al.*, 2013), no entanto, inúmeros setores apresentam grandes extensões em processo de retrogradação, causada pela erosão da linha costa (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003; SOUZA FILHO, 2005).

De maneira geral, a vulnerabilidade física relaciona-se as principais causas da erosão costeira. As principais causas são: dinâmica das correntes costeiras, morfodinâmica praial, com presença de praias intermediárias e reflexivas ao longo do litoral, configuração fisiográficas costeira regional e localmente diferenciada, potencial energético das ondas na arrebentação, amplitudes de marés diferenciadas e outros, como os relacionados à elevação do nível do mar (Souza, 2009).

A vulnerabilidade dos setores costeiros é medida a partir da ação diferenciada dos agentes físicos responsáveis pela dinâmica do litoral. São as diferenciações regionais nas forçantes climatológicas e oceanográficas que impõem respostas diferenciadas aos variados ambientes geológico-geomorfológicos (MUEHE, 2005). A ocupação da costa para moradias e para atividade turística, além de serem fatores de degradação de ambientes naturais, também sofrem com os impactos da erosão e da inundação provocados pela ação do mar.

A ação energética do mar sobre a orla costeira é determinada pela ação diferenciada dos agentes costeiros ao longo de uma determinada região (COELHO *et al.*, 2006), bem como, também influencia na evolução da posição da linha de costa (LIMA e COELHO, 2017). A zona costeira absorve a ação energética do mar e reflete em forma de impactos. Visto seus ecossistemas serem naturalmente vulneráveis, qualquer alteração nas variáveis físicas, pode causar impactos com diferentes magnitudes.

Em Salinópolis, área de estudo, as particularidades regionais relacionadas à fisiografia da costa (litoral de reentrâncias) e as altas amplitudes de marés (uma das maiores do Brasil), que materializam ao longo dos setores costeiros, diferentes dinâmicas e diferentes níveis de vulnerabilidade. Dessa forma, é objetivo deste artigo, mostrar aspectos da vulnerabilidade à ação energética do mar na orla do Município de Salinópolis, Litoral de Rias da ZCA. O trabalho desenvolvido baseia-se nas proposições metodológicas da Ciência da Vulnerabilidade (CUTTER, 2011) e adaptações do escopo metodológico e conceitual de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006) e Pereira e Coelho (2013), na Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016) e na teoria sistêmica da paisagem geográfica (Bertrand, 1973).

O trabalho subdivide-se em cinco partes: na primeira é apresentada a localização da área de estudo, com os sete setores destacados e algumas características regionais. Nesta primeira porção, também é apresentado os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Na segunda parte

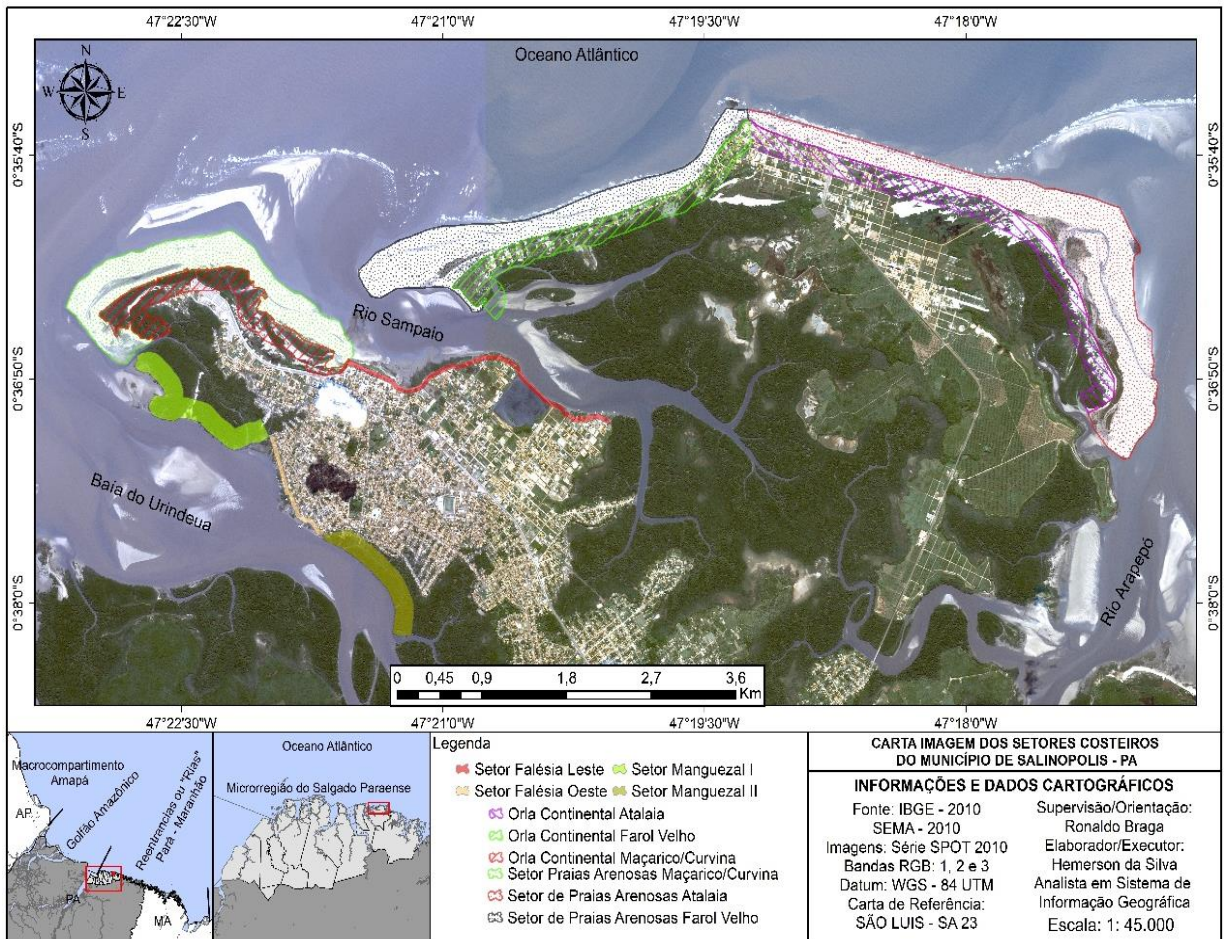
são apresentados os resultados da análise da vulnerabilidade à ação energética do mar para cada variável estudada, a matriz de vulnerabilidade e as principais propostas de adaptação e contenção de impactos nos sete setores costeiros a partir na análise da vulnerabilidade e de visitas a campo. Na quarta, faz-se a discussão dos resultados do trabalho. Na última parte elaborou-se algumas considerações resultantes dos resultados e da discussão do trabalho.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada foi a costa do Município de Salinópolis. Na subdivisão dos macrocompartimentos propostos por Muehe (2003) para a ZCA, a área está inserida no Litoral de Reentrâncias ou de Rias Pará-Maranhão (Figura 1). O Município é um importante polo turístico na Amazônia Oriental. As quatro principais praias: Curvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia recebem em torno de 300.000 visitantes na alta temporada do mês de julho (SEMMA, 2015; Ribon *et al.*, 2017). No entanto, por estar sujeita a ação energética do mar tem apresentado forte tendência à erosão ao longo de alguns setores da orla (MELO, 2008; RANIERI e EL-ROBRINI, 2015, 2016).

Figura 2.1- Localização da área de estudo com a subdivisão dos sete setores costeiros (Orla Costeira) em Salinópolis.



Fonte: Elaborada pelo autor, com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e imagens de satélite SPOT da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará-SEMA-PA.

O Litoral de Reentrâncias ou Rias, no qual Salinópolis está inserida é resultante da progradação lamosa, que ressalta a irregularidade da linha de costa configurando um litoral afogado pela transgressão marinha, caracterizado por uma sucessão de pequenos estuários e acréscimos sedimentares que, em conjunto, dão um aspecto de rias, razão da denominação de “reentrâncias” (MUEHE e NICOLÓDI, 2008).

A costa do Município de Salinópolis foi dividida em sete subsectores cujo cálculo da extensão foi realizado no Software ArcGis 10.3. A descrição dos setores e suas extensões são descritos na Tabela 1.

Tabela 2.1- Setores e subsetores de Município de Salinópolis-Pará para análise de vulnerabilidade costeira.

Setor do Maçarico/Curvina	Extensão (m)	Setor do Farol Velho/Atalaia	Extensão (m)
Setor de praia Maçarico/Curvina	5.186,19	Praia do Farol Velho	6.266,66
Costa de Falésias Leste	3.279,65		
Costa de Falésias Oeste	1.221,30		
Setor de Manguezal I	2.288,97	Praia do Atalaia	7.483,98
Setor de Manguezal II	1.525,66		

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de observações de imagens SPOT e rotinas de geoprocessamento no Software ArcGis.

Para a avaliação da vulnerabilidade da área de estudo foram adaptadas as metodologias para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC proposto por Gornitz (1991), Coelho (2005), Coelho et al. (2006), Pereira e Coelho (2013) e Germani et al. (2015). A determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis foi realizada a partir da análise e caracterização das variáveis apresentadas no Quadro 1.

Quadro 2.1- Variáveis e valores para a análise do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis.

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia (GM)	Costa de falésias altas passivas ⁶	Costa de Falésias médias passivas	Costa de Falésias baixas passivas	Costa de falésias ativas ⁷	Praias arenosas e planícies de marés
Geologia (GL)	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares sobrepostas por formação com sedimentos inconsolidados	Sedimentos arenosos ou argilosos inconsolidados
Declividade da costa (DC) (%)	>1,2 Alta declividade	1,2 a 0,9 Alta declividade	0,9 a 0,6 Média declividade	0,6 a 0,3 Baixa declividade	< 0,3 Muito baixa declividade
Cota Topográfica (CT) (metros)	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Altura máxima significativa da onda (AO) (m)	<0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	> 1, 25
Amplitude da Maré (AM) (m)	< 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	> 6

Fonte: Adaptado de Gornitz (1991); Coelho (2005), Coelho et al. (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani et al. (2015).

A análise dos parâmetros físicos recebe destaque neste artigo, no entanto, considera-se que as características socioeconômicas podem aumentar ou diminuir o grau de

⁶ As falésias passivas em Salinópolis são escarpamentos de alturas variadas que não são na atualidade solapadas com a ação energética dos agentes exodinâmicos, tais como ondas, marés e correntes longitunais (GUERRA e GUERRA, 2003).

⁷ Escarpamentos que são atingidos e solapados diariamente pela ação dos agentes exodinâmicos GUERRA e GUERRA, 2003).

vulnerabilidade (CUTTER, 2011). Para o estudo dessa temática na Amazônia, consultar proposição metodológica de Szlafsztein (2006) e outros trabalhos relacionados (SZLAFSZTEIN *et al.*, 2006, 2010). Neste artigo, o objetivo correspondeu à caracterização das variáveis físicas relacionadas com a ação energética do mar.

2.2.2 Geomorfologia e Geologia

A determinação e caracterização das unidades geomorfológicas em campo foram confirmadas com a análise de imagens de satélite SPOT/ano 2010 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) de 2,5 metros de resolução espacial e com leituras de artigos relacionados ao tema, como Folha (South America) SA 23 do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973), Melo (2008) e Ranieri e El-Robrini (2016). Com o levantamento altimétrico da área realizado por levantamento aerofotogramétrico e observações em campo definiu-se a nomenclatura de falésias baixas, entre 0 até 2 metros; falésias médias, com topografia maior que 2 metros e inferiores a 5 metros e falésias altas, superiores a 5 metros, sendo as duas últimas de ocorrência mais frequente na área de estudo. Considerando a dinâmica costeira dos agentes oceanográficos sobre a costa, entende-se, que as falésias passivas em Salinópolis são escapamentos de alturas variadas que não são na atualidade solapadas com a ação energética dos agentes exodinâmicos, tais como ondas, marés e correntes longitudinais. E as falésias ativas são escapamentos atingidos e solapados diariamente pela ação dos agentes exodinâmicos, tais com ondas, correntes e marés.

2.2.3 Declividade (DC) e Cota Topográfica (CT)

A determinação da declividade da costa e da cota topográfica foi efetuada a partir da elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi elaborado com rotinas de geoprocessamento utilizando as imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) com quatro imagens unidas em mosaico com resolução espacial de 30 metros, obtidas do banco de dados da Embrapa (2016), tratadas seguindo metodologia proposta pelo Projeto TOPODATA do INPE, descritos por Valeriano e Rosseti (2008) e interpoladas por Krigagem com as cotas do aerolevante da Companhia de Habitação do Estado do Pará - COHAB (2000). Dois mapas foram elaborados: o de cotas topográficas e o de declividade.

2.2.4 Altura Significativa da Onda

De acordo com Ranieri e El-Robrini (2016) ao longo da costa de Salinópolis as ondas

variam de 0,6 a 1,2 metros. Em águas rasas, na zona de arrebentação das praias da Corvina e Maçarico alcança 0,6 metros, na praia do Farol Velho e Atalaia variam de 0,9 a 1,2, respectivamente. Nos setores de falésia e manguezais, localizados mais para o interior, a morfologia da costa dissipa a energia das ondas, que não ultrapassam 0,6 metros. Muehe & Nicolodi (2008), estudando as características oceanográficas do litoral brasileiro identificaram para esse setor costeiro alturas das ondas incidentes inferiores a 1,5 metros.

Para diferenciar a vulnerabilidade entre as praias do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia foram utilizadas outras duas variáveis: energia potencial e de propagação das ondas no local e a velocidade da corrente longitudinal. Para o cálculo da energia potencial, recorreu-se à Equação (1):

Equação 2.1- Cálculo de energia potencial

$$P = \frac{1}{8} \cdot \rho g H^2 \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

Onde:

ρ =Massa específica/densidade da água

g = Gravidade (9,8 m/s²)

H = Altura da onda

h = Profundidade/batimetria local

Fonte: Fernandes *et al.* (2015).

Os valores de profundidade foram obtidos da análise da Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2017). Os valores de correntes de marés foram retirados de Ranieri e El-Robrini (2016), que utilizaram correntômetro para a determinação da velocidade da corrente costeira e os resultados foram utilizados para a classificação do estado morfodinâmico das praias.

2.2.5 Amplitude de Maré

Os dados sobre amplitude da maré foram calculados a partir das Tábuas de Marés do Departamento de Hidrografia e Navegação-DHN da Marinha do Brasil, dos anos de 2005 a 2016. Procedeu-se da seguinte forma: calculou-se o MHWS, da sigla em inglês Mean High Water Spring ou (Média das Preamar de sizígia ou altura da Preamar média de sizígia, deduzida de uma longa série de observações das alturas das Preamar de sizígia.) e MLWS da sigla Mean Low Water Spring ou (Média das Baixamar de sizígia ou altura da Baixamar média de sizígia, isto é, altura média, deduzida de uma longa série de observações, das alturas das Baixamar de sizígia) médio do cada mês. Cabe ressaltar que os valores encontrados estão acima do Nível de Redução (NR-Corresponde ao nível médio das Baixa mares de sizígia (MLHS). É um nível em que o mar não desce ou desce raramente) determinado pela Fundação de Estudo do Mar (FEMAR) e pela DHN. Em seguida fez-se a subtração dos valores (MHWS – MLWS =

Amplitude de Maré) (MIGUENS, 1996). O mesmo procedimento foi realizado para a determinação da amplitude de maré entre os meses de novembro a março, considerados mais chuvosos e os meses de abril a outubro, menos chuvosos.

2.2.6 Cálculo da vulnerabilidade à ação energética do mar

Após a manipulação dos dados, confecção dos mapas necessários e perfis topográficos, foram determinadas as vulnerabilidades da área de estudo de acordo com cada uma das variáveis. Com o valor de cada variável foi determinado o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG, calculado considerando a média aritmética da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade. A determinação do IVCG realizou-se conforme a classificação do modelo da Tabela 2, utilizando a Equação 2.

Equação 2.2- determinação do IVCG

$$IVCG = \frac{GM + GL + DC + CT + AO + AM}{6}$$

Fonte: Elaborado pelo autor com dados modificados de Gornitz (1991), Coelho et al. (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani et al. (2015).

Tabela 2.2. Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica.

Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
≤ 1	> 1 e ≤ 2	> 2 e ≤ 3	> 3 e ≤ 4	> 4

Fonte: Elaborado pelo autor com dados modificados de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani *et al.* (2015).

2.2.7 Trabalho de Campo

Para a elaboração deste artigo, fez três visitas a campo. A primeira ocorreu no período de 29 a 30 de 09/2016, na qual realizou-se o reconhecimento das principais unidades geomorfológicas e validação das cotas topográficas, anteriormente processadas do levantamento aerofotogramétrico para delimitação dos setores costeiros, bem como observou-se áreas de ocorrência do processo erosivo. A segunda deu-se no período de 02 a 03 de 06/2018, onde fez-se registro fotográfico e verificação da geologia, geomorfologia e do processo erosivo por setores de Orla costeira. A última visita a campo ocorreu em 04 a 06 de 07/2018, fez-se registro fotográfico e análise dos resultados da pesquisa por Setores de Orla.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Geomorfologia (GM)

A geomorfologia (GM) permite a distinção entre a menor vulnerabilidade de zonas costeiras montanhosas, quando comparadas com praias ou dunas (COELHO *et al.*, 2006).

Diversas unidades de paisagem são encontradas no município, como planícies de marés, campos de dunas, falésias, lagos interdunares (MELO, 2008). Todas, no entanto, fazem parte das duas unidades geomorfológicas dominantes, o Planalto Costeiro e a Planície Costeira.

Em Salinópolis, a extensa planície de maré se formou ao longo das margens dos três principais canais: Urindeua, Sampaio e Arapepó. Sobre esta planície se coloniza extensa formação de manguezais, que ocupa grande porção do Município, principalmente a Norte. Também se destaca na paisagem, a unidade morfológica de praia. As principais praias são: praia do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia. O cordão arenoso ocupa toda o litoral mais exposto à ação energética do mar, cuja morfodinâmica está ligada principalmente à dinâmica das ondas, marés e das correntes longitudinais (RANIERI e EL-ROBRINI, 2015).

Outra unidade morfológica da Planície Costeira em Salinópolis são as dunas, que estão presentes entre as praias e as formações de mangues. Ao longo da praia do Maçarico e Curvina, as dunas dominam toda a extensão. No Farol Velho, as dunas ocupam principalmente a porção central e sul. Ao longo da praia do Atalaia são encontradas as mais extensas formações de dunas do Município, alcançando até 42 metros de altitudes, colonizadas por restingas e possuindo no seu interior lagos interdunares, que se formam devido ao afloramento dos lençóis freáticos durante o período chuvoso.

A área de planície de maré é caracterizada pela influência direta da ação energética do mar que, também por esse motivo, se apresenta em constante dinâmica. A vulnerabilidade para a variável que caracteriza a geomorfologia foi classificada de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2.2- Classificação da vulnerabilidade para a variável Geomorfologia em Salinópolis.

Setores costeiros	Unidades morfológicas	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico / Corvina	Predominância de praia arenosa limitada por manguezais e dunas vegetadas	Muito Alta
Setor de Falésias Leste	Predominância de Falésias Altas e Médias Ativas	Alta
Setor de Falésias Oeste	Predominância de Falésia Altas passivas	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	Planície de maré	Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	Planície de maré	Muito Alta
Praia do Farol Velho	Praia arenosa limitada por falésias ativas baixas, médias e altas	Muito Alta
Praia do Atalaia	Praia arenosa limitada na extremidade Oeste por falésias ativas de altura variada e a Leste por dunas vegetadas e antropizadas.	Muito Alta

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.2 Geologia (GL)

As características geológicas permitem avaliar a natureza das rochas e dos sedimentos que constituem a região costeira, e fazer uma classificação baseada no comportamento desses materiais quando sujeitos a ação do mar. Por exemplo, as rochas magmáticas ou eruptivas são rochas de elevada dureza e por isso pouco vulneráveis, ao contrário dos sedimentos não consolidados de pequenas dimensões, que apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade (COELHO *et al.*, 2006).

O Litoral Norte amazônico da foz dos rios Amazonas ao rio Gurupi, no Estado do Maranhão, apresenta um forte controle estrutural, seguindo as orientações das falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes NE-SW, vinculadas à atuação de binário textural E-W, no Terciário-Quaternário (COSTA *et al.*, 1993; COSTA *et al.*, 1996).

O Município de Salinópolis apresenta evolução sedimentar correspondente à morfogênese regional, com três unidades litoestratigráficas que afloram ao longo da costa e do interior. A formação Pirabas, datada do Mioceno, cuja gênese é representada por calcários marinhos, compostos de micritos, bioclastitos, dolomicritos, biohermitos e margas intercalados com folhelhos cinza esverdeados a negros, contendo vegetais piritizados, tendo sido encontrados arenitos calcíferos nas camadas superiores (GÓES *et al.*, 1990); a formação Barreiras, Plio-plestocênica, marcada também de características miocênicas e os sedimentos Pós-Barreiras não consolidados que são encontrados aflorando em todo o Município (ROSSETTI *et al.*, 1989; GÓES *et al.*, 1990; ROSSETTI, 2000, 2006).

Nas falésias que circundam Salinópolis afloram principalmente a formação Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras, já a formação Pirabas apresenta ocorrência em poucos setores (Figura 2), com afloramento principalmente na porção central da praia do Atalaia, e nas praias do Maçarico e Farol Velho (RANIERI E EL-ROBRINI, 2016).

Figura 2.2- Principais formações geológicas da área de estudo: A1 (Grupo Barreiras: arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito); A2 (Depósitos flúvio-marinhos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos). A3 Afloramento Pirabas



Fonte: Serviço Geológico do Brasil/CPRM e fotografia de Ronaldo Braga em março de 2016.

Diante das características geológicas da zona de estudo, constata-se que todas as formações geológicas presentes ou que afloram em Salinópolis são de origem sedimentar. Tais características também podem ser constatadas em cartas geológicas do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973) e foram confirmadas em trabalho de campo. Dessa forma, a vulnerabilidade local que caracteriza a geologia segue como mostra o Quadro 3.

Quadro 2.3- Subsetores costeiros, características geomorfológico-geológicas e classificação da vulnerabilidade.

Subsetores Costeiros	Unidades geomorfológicas/ Geológicas	Vulnerabilidade Geologia
Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Costa de Falésias Leste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Costa de Falésias Oeste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Setor de Manguezal Leste I	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor de Manguezal Leste II	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Farol Velho	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Atalaia	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta

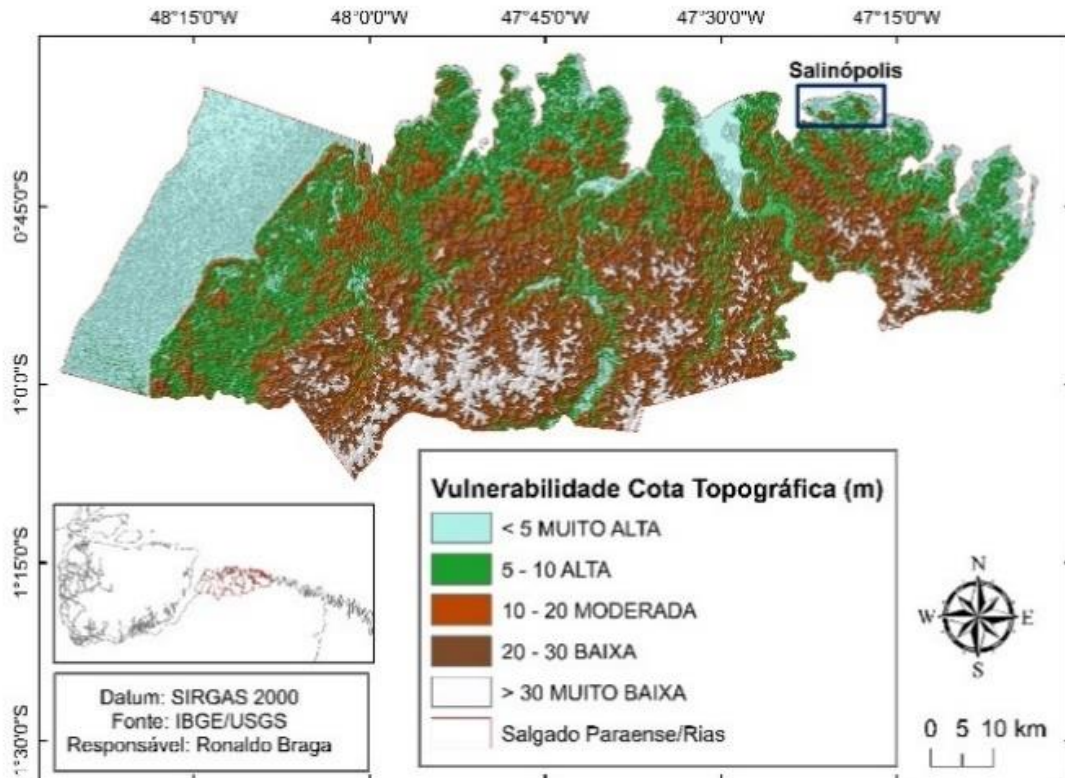
Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.3 Cota Topográfica (CT)

A cota topográfica (CT) é um parâmetro de vulnerabilidade que estabelece a distinção entre zonas costeiras planas e zonas costeiras com grande declive (COELHO *et al.*, 2006). Para estudos da elevação e da ação energética do mar, considera-se que locais com cotas até dez metros de altitude compõem o que Tagliani (2006), Williams *et al.* (2009) e Nicholls *et al.* (2013) denominam de Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), ou seja, áreas sujeitas a maiores impactos à ação energética e à subida do nível do mar (GUTIERREZ *et al.*, 2014).

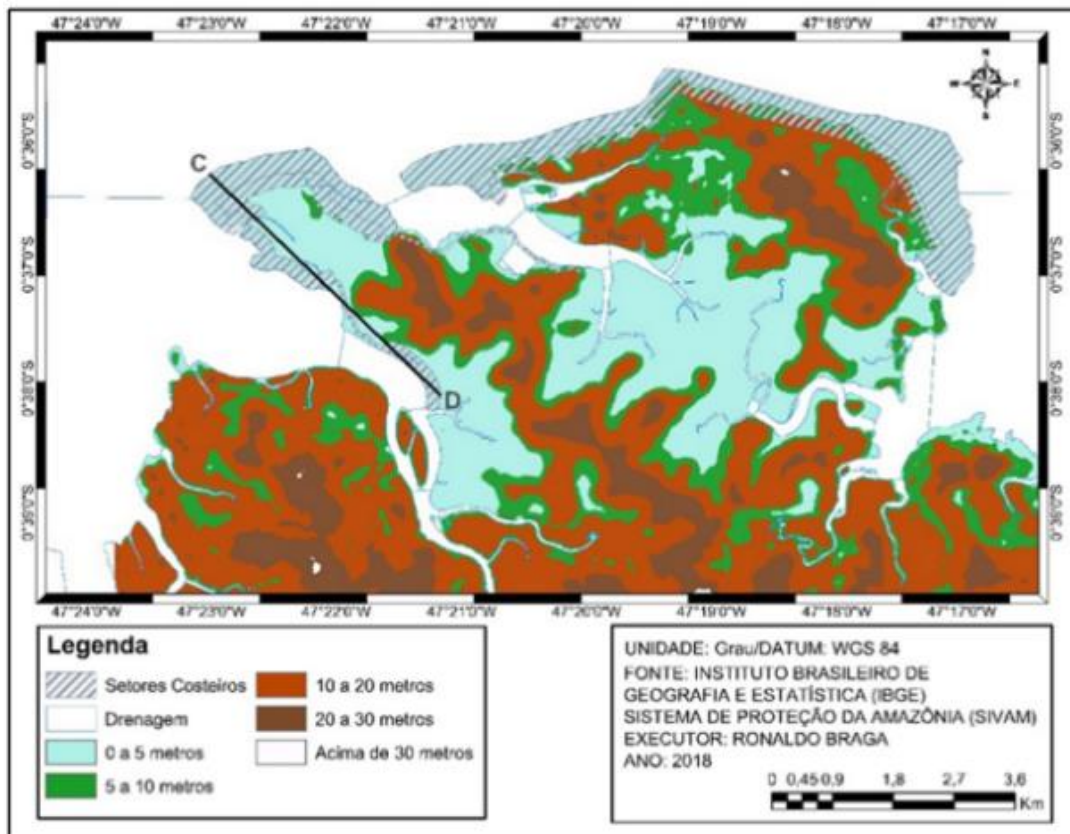
O Litoral de Rias da Amazônia, que também inclui a área de estudo (Figuras 3) possui grande parte de sua área na ZCBE, formada em sua maior extensão de planícies lamosas e praias. Essa característica faz com que grande extensão do litoral esteja a menos de dez metros de altitude, caracterizando vulnerabilidade Alta a Muito Alta. A ZCBE dessa porção das Rias do Nordeste paraense penetra para o interior do continente, seguindo os canais de marés, cuja baixa altimetria se intercala com maiores cotas topográficas do Planalto Costeiro Amazônico.

Figura 2.3- Mapa de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica do Litoral de reentrâncias paraense, NE da Amazônia.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 2.4- Mapas de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica de Salinópolis, NE da Amazônia.



Fonte: Elaborada pelo autor

Na subdivisão por setores costeiros propostos nesse trabalho, a maioria de suas áreas estão inseridas na ZCBE. A variação das cotas topográficas que se verifica ao longo da costa Municipal (Figura 4) é devido à sucessão de canais e planícies de marés que recortam o litoral. Os três principais rios ou baías: Baía do Urindeua, Rios Sampaio e Arapepó, com desembocaduras superiores a 2 km de largura, somam juntos aproximadamente 50 canais ou afluentes, que caracteriza uma hierarquia fluvial que se ramifica para interior, justificando a baixa cota topográfica.

A ZCBE do Município é composta de planícies lamosas colonizadas por manguezais, por depósitos arenosos que formam as praias e por formações dunares. Ante a essas características topográficas, o Tabela 3 mostra a classificação da vulnerabilidade para o parâmetro cota topográfica em Salinópolis.

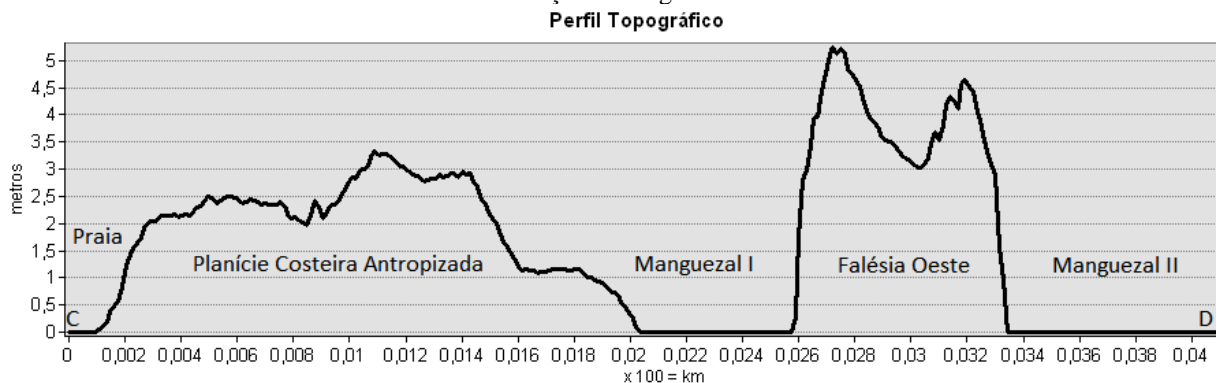
Tabela 2.3- Vulnerabilidade do parâmetro cota topográfica por setores costeiros de Salinópolis

Setores costeiros em Salinópolis	Vulnerabilidade Cota Topográfica (m)
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	≤ 5 Muito Alta
Setor de falésias Leste	$> 5 \leq 10$ Alta
Setor de Falésias Oeste	$> 5 \leq 10$ Alta
Setor de Manguezais Leste I	≤ 5 Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	≤ 5 Muito Alta
Praia do farol Velho	≤ 5 Muito Alta
Praia do Atalaia	≤ 5 Muito Alta

Fonte: Elaborada pelo autor

Devido a Muito Alta e Alta vulnerabilidade para todos os setores, as variáveis oceanográficas como ondas e marés dissipam suas energias sobre essas estruturas artificiais, causando erosão e alagamentos e obrigando ocupantes e moradores a criarem estratégias de adaptação.

Figura 2.5- Perfil topográfico CD em Salinópolis, demonstrando grande extensão compondo a Zona Costeira de Baixa Elevação ao longo dos setores costeiros.



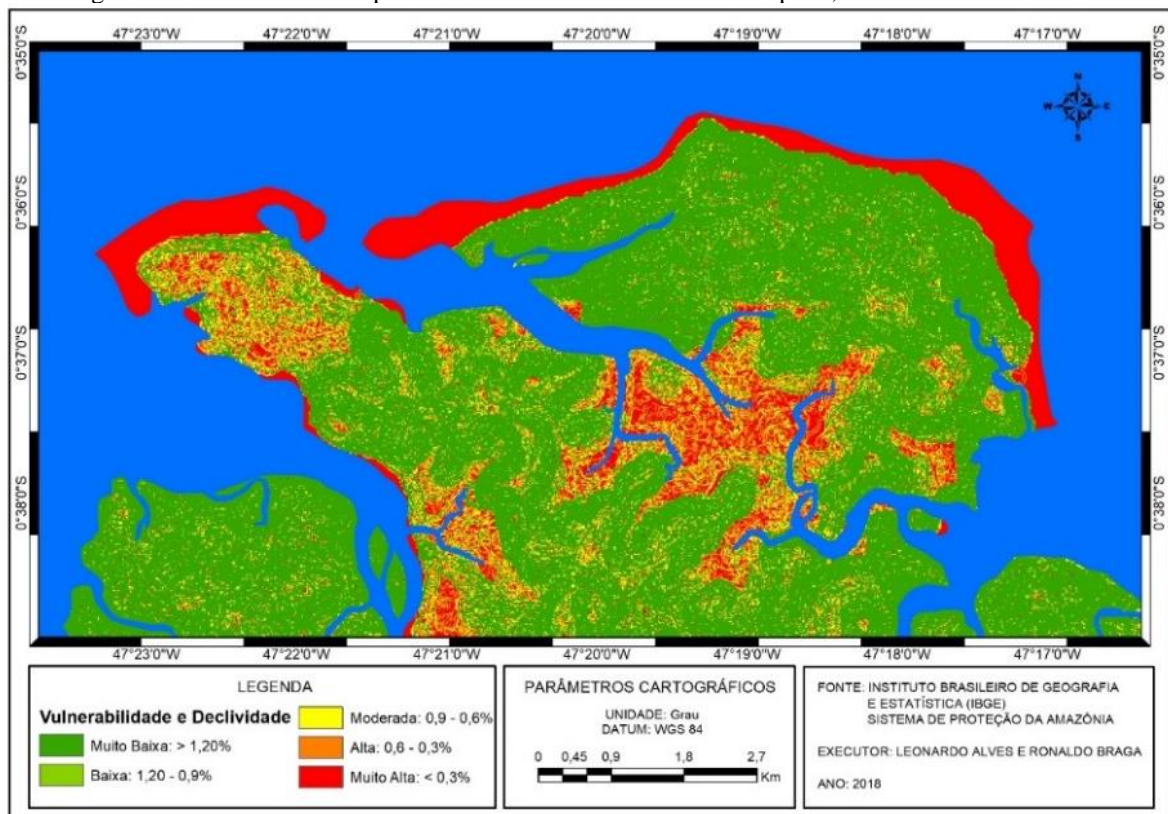
Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 5 mostra o perfil topográfico CD, abrangendo o setor de praia da Curvina, planície antropizada, setor de Manguezal I, setor de Falésia Oeste e setor de Manguezal II. Toda essa porção da orla está abaixo de cinco metros topográficos, ou seja, Muito Alta vulnerabilidade a ação energética do mar.

2.3.4 Declividade (DC)

Quanto menos íngreme a costa for, maior será sua vulnerabilidade, tanto à elevação do nível do mar quanto a ação energética do mar (GORNITZ, 1991; PEREIRA e COELHO, 2013). A Figura 6 mostra a declividade da costa do Município de Salinópolis. A baixa declividade da costa facilita a penetração das marés e correntes oceânicas para o interior do continente.

Figura 2.6- Vulnerabilidade para a variável Declividade em Salinópolis, Litoral NE da Amazônia



Fonte: Elaborada pelo autor

Em Salinópolis a predominância da baixa declividade, principalmente nos setores de praias e manguezais, faz a ação do mar dissipar a energia das ondas sobre as estruturas artificiais e ambientes naturais. Para os setores de praias arenosas: Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia com declividade < a 3%, a vulnerabilidade é Muito Alta. As mesmas classificações apresentam os setores de Manguezais I e II. O setor de Falésia Leste apresenta declividade muito alta na maioria de sua extensão, dessa forma, possui Muito Baixa vulnerabilidade. No entanto, o depósito lamoso na base da falésia apresenta baixa declividade e conseqüentemente

uma Muito Alta vulnerabilidade. O Setor de Falésia Oeste apresenta em sua maior área muito alta declividade, o que o configura em Muito Baixa vulnerabilidade.

2.3.5 Altura significativa da onda (AO)

A altura de ondas para os as quatro praias da área de estudo em águas rasas na zona de arrebentação alcançam em média de 0,5 a 1 m de altura. Na face oceânica desses setores costeiros praias, as ondas incidentes são inferiores a 1,5 m (Muehe e Nicolodi, 2008). Os valores da altura de ondas locais coletados por Ranieri e El-Robrini (2016) na praia da Corvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia são apresentados na Tabela 4. Os valores de ondas dos setores de falésias e manguezais foram inferidos como menores que 0,6 metros, pois são locais mais protegidos da ação direta das ondas e por se localizarem mais no interior dos canais.

Tabela 2.4- Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados durante o período equinocial por Ranieri & El-Robrini (2006) (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 – período menos chuvoso) e suas respectivas vulnerabilidades.

Setores	Altura média das ondas (m)	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	0,6	Baixa
Setor de falésias Leste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Falésias Oeste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste II	< 0,6	Muito Baixa
Praia do Farol Velho	0,9	Moderada
Praia do Atalaia	1,2	Alta

Fonte: Elaborada pelo autor

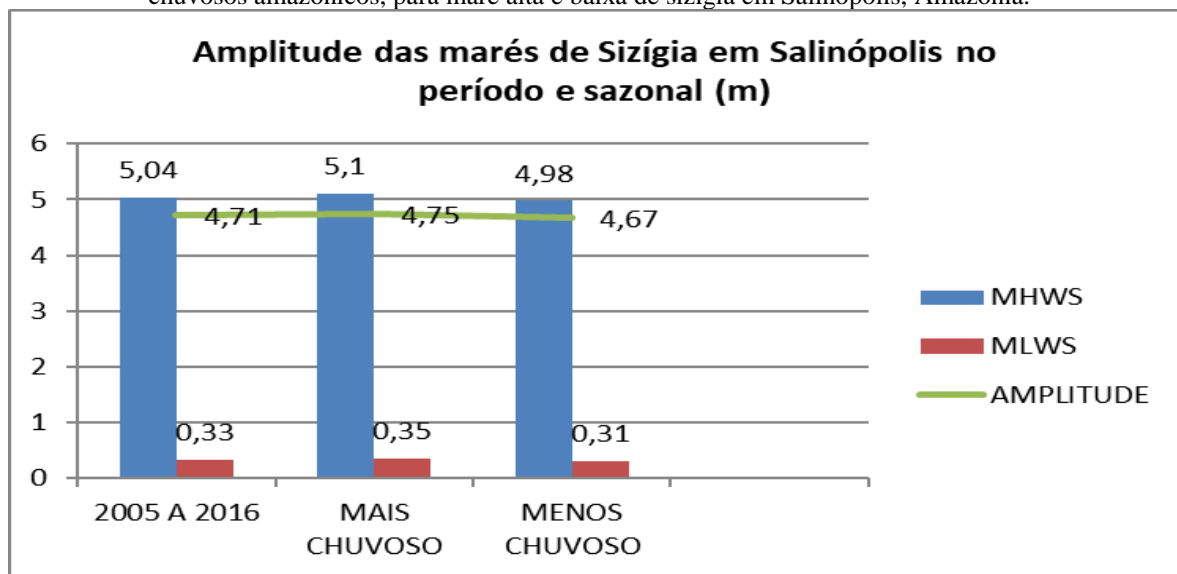
2.3.6 Amplitude de Maré (AM)

No Litoral de Rias da Amazônia, a amplitude de maré é de 5,5 metros (Muehe e Nicolodi, 2008), valor que se aproxima ao calculado por El-Robrini *et al.* (2006), que assinalam para toda a costa do Atlântico do Salgado Paraense um valor aproximado da amplitude média de maré de 5,3 metros, com influência direta das macromarés semidiurnas. Para Salinópolis a FEMAR apresenta amplitude de maré de 4,75 metros, quando comparadas as médias da preamar e baixamar de sizígia. De forma geral as reentrâncias amazônicas, especificamente na área de estudo, apresentam marés bem superiores a outros locais do país, quando comparado aos principais portos do país.

O MHWS calculado para o período de 2005 a 2016 nas Tábuas de Marés foi de 5,04 metros acima do Nível de Redução. Esse valor é praticamente igual ao valor oficial calculado pela FEMAR. Para a MLWS verificam-se diferenças nos valores, pois a FEMAR estipula o

valor de 0,46 metros e nas Tábuas, foi de 0,33 metros. As amplitudes de marés foram calculadas para o período chuvoso e menos chuvoso no NE do Pará. Para o período conhecido como mais chuvoso, nos meses de novembro a março, a amplitude de maré foi de 4,75 metros. Para os meses menos chuvosos, de abril a outubro, a amplitude de maré foi de 4,67 metros (Figura 7). Importante destacar que a diferença de 0,12 metros está relacionada com as marés altas equinociais de março e setembro.

Figura 2.7- Marés e amplitude de marés no período de 2005 a 2016 e durante os meses mais e menos chuvosos amazônicos, para maré alta e baixa de sizígia em Salinópolis, Amazônia.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados das Tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN de Salinópolis entre os anos de 2005 a 2016.

Durante o período de sizígia em Salinópolis, as marés alcançam locais com maior altitude, que em conjunto com as ondas de altura entre 0,6 e 1,2 metros, influenciam a dinâmica sedimentar, aumentando a capacidade de transporte ao longo da costa. Nos setores costeiros em estudo, a ocupação humana, com construções para habitação e para infraestrutura para o turismo sobre o estirâncio, pós-praia e orla continental, sofrem o impacto direto desses agentes físicos, que agem sobre essas estruturas, causando danos. Esses impactos são advindos da Alta vulnerabilidade do litoral de Salinópolis às amplitudes de marés, tanto para o período de 2005 a 2016 (4,71 metros), como para os períodos sazonais mais chuvosos (4,75 metros).

2.3.8 Determinação do índice de vulnerabilidade costeira geral (IVCG)

Os valores da vulnerabilidade para cada variável estão descritos no Tabela 5. Cada setor apresenta características singulares de vulnerabilidade quando expostas a ação energética do mar.

Tabela 2.5- Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral à ação energética do mar por setores em Salinópolis, Amazônia.

Setores costeiros	Parâmetros de Vulnerabilidade						Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG
	GM	GL	DC	CT	AO	AM	
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	5	5	5	5	2	4	4,33 (Muito Alto)
Setor de Falésias Leste	4	3	1	4	1	4	2,83 (Moderado)
Setor de Falésias Oeste	1	3	1	4	1	4	2,33 (Moderado)
Setor de Manguezais I	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Setor de Manguezais II	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Praia do Farol Velho	5	5	5	5	3	4	4,50(Muito Alto)
Praia do Atalaia	5	5	5	5	4	4	4,66 (Muito Alto)

Fonte: Elaborada pelo autor.

No setor de praias Maçarico/Curvina o IVCG à ação energética do mar foi determinado como Muito Alto (4,33). Os parâmetros geomorfológicos/geológicos (Geomorfologia, Geologia, Declividade da Costa e Cota topográfica) apresentaram valor de vulnerabilidade Muito Alta, enquanto que o parâmetro oceanográfico Altura da Onda apresentara valor menor. Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam IVCG Moderado, com valores de 2,83 e 2,33, respectivamente. O parâmetro Geomorfologia é o que os diferencia. No setor Leste grande parte da costa é composta de falésias ativas, fato que o classifica em Alta vulnerabilidade, enquanto no setor Oeste as falésias são passivas, o que classifica este parâmetro neste setor em Muito Baixa vulnerabilidade.

Os setores de Manguezais I e II apresentam os mesmos valores de vulnerabilidade para os parâmetros geomorfológicos/geológicos e oceanográficos, apresentando Muito Alto IVCG para a média dos valores de vulnerabilidade. Por não serem contínuos, optou-se pela classificação separada dos dois setores.

Os setores de praias do Farol e Velho e Atalaia apresentam IVCG Muito Alto, 4,50 e 4,66, respectivamente. Com exceção dos valores de Altura de Ondas, todos os parâmetros nesses

setores apresentam vulnerabilidade a ação energética do mar semelhante.

Das quatro praias analisadas verificou-se IVCG Muito Alto em todas. O único parâmetro que as diferencia é a Altura das Ondas. Dessa forma, calculou-se a energia potencial das ondas que chegam em cada praia, objetivando encontrar alguma diferença que justifique os diferentes índices de vulnerabilidade e o processo erosivo diferenciado na orla das praias já identificado por Ranieri e El-Robrini (2016) e confirmados nesse trabalho em pesquisa de campo. Para o cálculo da Energia Potencial considerou-se a densidade (ρ) da água do mar com valor de 1.030 kg/m^3 (APRH/Glossary, 2007).

Constatou-se que a praia do Atalaia é a mais energética, dissipando $11.387,91 \text{ w/m}$. A praia do Farol Velho é a segunda mais energética, com energia de onda de 6.405 w/m . As praias do Maçarico e Curvina possuem 2.013 W/m de energia potencial cada, sendo consideradas com menos dinamismo com relação à energia potencial das ondas.

A velocidade das correntes costeiras é outro parâmetro que diferencia as praias. De acordo com Ranieri & El-Robini (2016), na praia do Atalaia as correntes são fortes, em média, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. Nas praias do Farol Velho e Maçarico as correntes são moderadas, com velocidade média superior a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. A praia da Curvina apresenta correntes fracas, com velocidades inferiores a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ (Tabela 6).

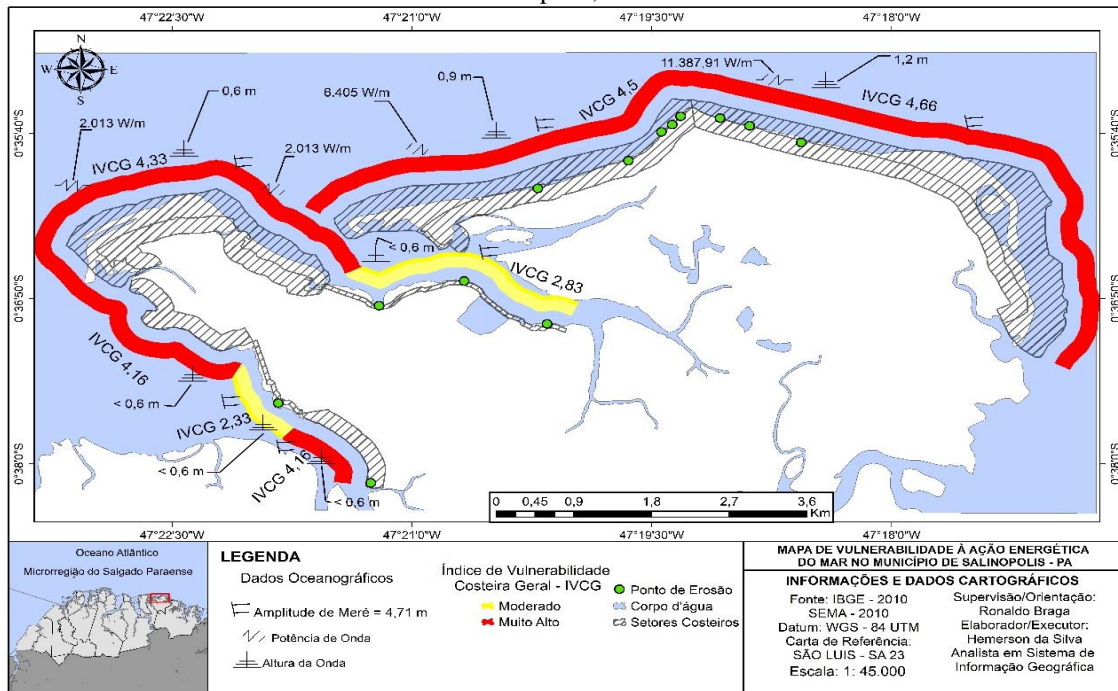
Tabela 2.6- Valores de profundidade local e altura da onda para o cálculo da energia potencial e de propagação das ondas nas quatro praias em análise. E velocidade das correntes.

Praia	Profundidade (h)	Altura (H)	Potência (w/m)	Velocidade da Correntes
Setor Praia do Maçarico	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$).
Setor Praia da Curvina	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes fracas (em média menores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Farol Velho	4 m	0,9 m	6405,48	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Atalaia	4 m	1,2 m	11387,91	Correntes fortes (em média maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$)

Fonte: Produzida com dados de Ranieri e El-Robrini (2016), da Carta Náutica da Diretoria de Hidrografia Nacional revisada em 2017 e do APRH/Glossary (2007) do Journal of Integrated Coastal Zone Management.

A Figura 8 mostra a síntese do cálculo dos valores de cada variável analisada, destacando o Índice de Vulnerabilidade Geral para toda a Orla de Salinópolis.

Figura 2.8- Mapa síntese do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG) à ação energética do mar em Salinópolis, Pará.



Fonte: Elaborada pelo autor

2.4 DISCUSSÃO

Os três setores de praias arenosas (Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia) apresentam Muito Alta vulnerabilidade, com todos os seis parâmetros apresentando elevados valores individuais. A vulnerabilidade elevada das praias à ação energética do mar se expressa, principalmente, pela ação diária e constante das correntes costeiras, amplitudes de marés anuais superiores a quatro metros, ondas que dissipam energia potencial sobre a costa, erodindo estruturas artificiais e removendo sedimentos arenosos inconsolidados que formam a praia e construções sobre a faixa emersa da Orla.

Os setores de praias arenosas, mesmo apresentando Muito Alta vulnerabilidade para o total das variáveis, possuem diferença quanto à potência das ondas incidentes no local e à velocidade das correntes costeiras. Na praia do Atalaia e do Farol Velho as ondas dissipam energia potencial de 11.387,91 w/m e 6.405,48 w/m, respectivamente. Uma das consequências é a erosão da costa, que na orla se materializa pela destruição de estruturas como bares e restaurantes construídos sobre a pós-praia e estirâncio e ameaçam hotéis e residências. As correntes que alcançam as praias são fortes, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ para o Atalaia e moderadas (maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$) para o Farol velho. A ação dessas correntes é responsável pelos deslocamentos de sedimentos longitudinalmente à praia, formando banco e calhas e erodindo falésias. A dissipação da energia potencial das ondas e ação das correntes locais, são dois dos

principais agentes oceanográficos atuantes em Salinópolis e responsáveis pela erosão.

O setor de praias do Maçarico/Curvina é menos energético dentre as praias, apresentando energia potencial de ondas de 2.013,67 w/m. Sobre a face praial dissipativa formam-se trem de ondas que vão dissipando sua energia e atingem as dunas ou a pós-praia com menos energia (Ranieri & El-Rbrini, 2016). As praias são pouco frequentadas pelo turismo e são limitadas por dunas colonizadas por vegetação de restinga e mangue. Para aqueles autores as correntes que atuam no local são moderadas e fracas, variando em torno de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Pelo fato de as praias não serem muito dotadas de infraestrutura para turismo, a pós-praia, estirâncio e as dunas não sofrem impactos intensos provenientes da ocupação e os danos sobre estruturas construídas não são muito observados.

A principal estrutura para o turismo do local, conhecida como a “Orla do Maçarico” (Figura 9), construída sobre os manguezais e dunas nos anos de 1997 a 2000 (SOUZA, 2014), até o presente, não tem sofrido impacto da energia potencial das ondas, visto que estas dissipam a energia sobre as dunas vegetadas. No entanto, a obra tem provocado mudanças nas áreas de migração de dunas e desenvolvimento da vegetação de mangue (REIS e MENDES, 2001; MENDES *et al.*, 2013).

Figura 2.9- Orla turística do Maçarico (B). Para a construção de aproximadamente 2 km de orla, foi derrubado vegetação de mangue e restinga e a compactação do solo com aterro e concreto. A vegetação de mangue e as dunas que se formaram paralelamente à “Orla” tem funcionado como barreiras de proteção da estrutura ao ataque das ondas.



Foto: COHAB, 2000.

Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam vulnerabilidade Moderada. Estas classificações estão relacionadas, principalmente, à altura das falésias no local, que alcançam cotas superiores a 17 metros, à sua localização mais protegida, visto estarem localizadas mais no interior dos canais e pela deposição lamosa em suas bases. Tais fatores limitam a ação energética do mar sobre o continente. Uma das consequências da energia do mar sobre as falésias é a erosão, que provoca perdas de ambientes e, em alguns locais, como no Setor de Falésias Leste, tem causado preocupação às populações residentes.

Para os setores de manguezais que foram classificados como Vulnerabilidade Muito Alta, observou-se que a ação do mar é um fator preponderante. Diariamente no local, as marés semi-diurnas inundam as planícies, depositando sedimentos e facilitando a colonização de espécies típicas do ecossistema de manguezal. A diminuição da energia das ondas não justifica uma baixa vulnerabilidade nos mangues, visto que sua dinâmica é dominada pelas marés, fato que comprova sua Muito Alta Vulnerabilidade, principalmente por sua baixa topografia. A Figura 10 mostra três setores de Muito Alta vulnerabilidade sob a ação energética do mar.

Figura 2.10- Ação das ondas e correntes longitudinais e de marés sobre estruturas artificiais: (C) Setor da praia do Atalaia, em Muito Alta Vulnerabilidade, sofrendo ataque das ondas; (D) Setor da praia do Farol Velho em Muito Alta vulnerabilidade, apresentando intenso processo erosivo; (E e F) Setor de Falésia Leste, a ação, principalmente das correntes de marés tem provocado erosão nas vias de circulação.



Fonte: Fotos de Ronaldo Braga em 08 de abril de 2018

2.4.1 Proposta metodológica de estratégias de intervenção em Salinópolis

Na literatura internacional há diversos trabalhos que tratam do tema da adaptação, cujas metodologias podem ser ajustadas ou aplicadas em diversas realidades costeiras (ODEKU, 2004; MUSA *et al.*, 2016; EKSTRÖM *et al.*, 2016).

Em Salinópolis a determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar requer respostas de intervenção, tanto advindas de governantes como da comunidade local. Dessa forma, em função da avaliação da vulnerabilidade e das características atuais dos setores costeiros, com vistas à minimização dos impactos, principalmente à erosão, a estratégia metodológica sugerida para a área de estudo é a Adaptação baseada em Ecossistema (AbE), ou seja, o uso dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade como parte de uma estratégia de adaptação para auxiliar as pessoas e as comunidades a se adaptarem aos efeitos negativos das mudanças climáticas em nível local, nacional, regional e global (ICLEI, 2015, 2016). A AbE tem como finalidade diminuir os impactos da ação do mar sobre a costa, utilizando infraestrutura verde, ou seja, áreas naturais interconectadas, como corredores verdes, parques, zonas úmidas, reservas florestais e comunidades de plantas nativas, e áreas marinhas que naturalmente regulam o regime de chuvas, a temperatura, o risco de inundações e a qualidade da água, do ar e do ecossistema, que juntas aumentam a saúde e a resiliência dos ecossistemas, contribuem para a conservação da biodiversidade e beneficiam populações humanas por meio da manutenção e aprimoramento dos serviços ecossistêmicos. (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Em determinados setores da costa de Salinópolis, como nas praias do Farol Velho e Atalaia, as habitações e estruturas comerciais estão sob ataque direto do mar em maré alta, para esses locais, não se descarta a possibilidade de instalação de infraestrutura cinza, aquelas relacionadas às estruturas convencionais, como barreiras de concreto, madeira e concreto, metal, metal e concreto. Atualmente, são essas as principais formas de contenção do processo erosivo em Salinópolis. O que se constata, é que tais iniciativas possuem caráter imediatista e paliativa, sem estudo ambiental detalhado prévio. O Quadro 4, mostra as possíveis estratégias de adaptação e intervenção por setores de Orla em Salinópolis, com base em análise de campo e (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Quadro 2.4- Estratégia de adaptação local para Salinópolis.

Setores costeiros	Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG	Estratégia de adaptação à ação energética do mar
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	4,33 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar desmatamento de vegetação de mangues e restingas; • Manter dunas vegetadas; • Não interromper a conexão de vegetação de mangues e restingas entre as duas praias; • Controlar a atividade turística nas praias; • Impedir retirada de areia das praias.
Setor de falésias Leste	2,83 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de árvores de grande porte para evitar a erosão de falésias; • Interditar áreas de falésias altas em erosão.
Setor de Falésias Oeste	2,33 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção e plantio de árvores próximo às falésias habitadas; • Utilização do depósito lamoso na base das falésias para facilitar a colonização de vegetação, com vistas a dissipar a energia principalmente das correntes de marés.
Setor de Manguezais Leste I	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Preservar a vegetação ainda existente através da aplicação da legislação ambiental de Área de Preservação Permanente, Lei nº 12.727/2012 (BRASIL, 2012); • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Setor de Manguezais Leste II	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a Lei sobre Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012) para impedir a urbanização que avança sobre a vegetação; • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Praia do Farol Velho	4,5 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa.
Praia do Atalaia	4,66 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa; • Impedir a circulação de carros na praia; • Preservar as dunas, que funcionam como fonte de sedimentos para a praia; • Impedir retirada de areia das dunas e da praia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Intervenções do poder público Municipal e da população podem ser vistas ao longo da Orla de Salinópolis (Figura 11). No setor de Falésia Leste a Defesa Civil protocolou pedido à Prefeitura Municipal por meio do Ministério Público para interditar uma parte desse setor.

Figura 2.11- Medidas de contenção da erosão em Salinópolis: (G) parte central do Setor de Falésia Leste interditado; (H) estrutura de contenção da erosão em madeira e rochas destruídas na praia do Atalaia.



Fonte: Fotos de Ronaldo Braga em 08 de abril de 2018

2.5 CONCLUSÃO

O estudo da ação energética do mar no litoral de Salinópolis demonstra um cenário atual onde a maioria da costa se apresenta em Muito Alta vulnerabilidade para a maioria das variáveis, devido às características físicas regionais particulares, tais como configuração e formação geomorfológica da costa, altas amplitudes de marés, baixa cota topográfica e diferencial de potencial energético das ondas.

As ondas dissipam energia potencial diferentes sobre as praias, devido à distintas características físicas da altura das ondas e da batimetria. Parte do processo erosivo evidenciado ao longo da Orla costeira é resultante dessa energia das ondas.

A metodologia utilizada para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral, IVCG, em Salinópolis, importante cidade litorânea amazônica, pode ser replicado para o restante da Zona Costeira Amazônica, podendo ser instrumento de conhecimento da dinâmica física de umas das mais importantes regiões do Planeta. Também serve como subsídio para a previsão de impactos ambientais na costa, podendo ser utilizado por gestores em diferentes instâncias de poder.

A ocupação humana da zona de maior dinamismo das praias (estirâncio) e da zona de depósito sedimentar (pós-praia) nas praias do Farol Velho e Atalaia, potencializam a ação energética das ondas, que provocam erosão e conseqüentemente a destruição das estruturas comerciais e residenciais e impedem o transporte de sedimentos entre as zonas praias, provocando erosão.

Por falta de conhecimento suficiente pela Esfera Pública, sobre a dinâmica física dos principais agentes oceanográficos responsáveis pela morfologia costeira em Salinópolis, há a

permissão para as construções domiciliares e de hotelaria em setores da Orla Costeira em Alta ou Muito Alta Vulnerabilidade à ação energética do mar, como acontece nas Orlas continentais dos setores das praias do Farol Velho e Atalaia.

A classificação por setores da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis, seguiu-se de uma proposição metodológica para adaptação. As estratégias propostas basearam-se em experiências positivas destacadas pela ICLEI (2015, 2016) e no Plano Nacional de Adaptação em Zonas Costeiras (PNA/MMA, 2016). Para cada setor, de acordo com a vulnerabilidade foram propostas medidas de adaptação e contenção.

De acordo com a teoria geográfica dos sistemas (BERTRAND, 1973) a paisagem é resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. Ab'Saber (2006) e Muehe (2005, 2006) afirmam que as paisagens costeiras se formam e se modificam a partir da inter-relação dos agentes físicos e antrópicos. A classificação da vulnerabilidade em Salinópolis considerou a análise sistêmica entre os agentes geológico/geomorfológico e oceanográficos.

De acordo com Neves e Muehe (2008), os setores costeiros em estudo se caracterizam como as de maior susceptibilidade socioeconômica diante da ação do mar. Esta consideração foi reafirmada por Szlafsztein (2006), em estudo sobre as estratégias e medidas contra desastres naturais na zona costeira da Amazônia.

A constatação da elevada vulnerabilidade atual à ação energética do mar em Salinópolis lança subsídios para a necessidade de melhorias de políticas públicas, que considerem o equilíbrio dinâmico das diferentes paisagens e de mais pesquisas sobre os impactos que a ação energética do mar pode provocar na Zona Costeira Amazônica. Também se entende que a metodologia apresentada pode ser replicada para outros setores da costa amazônica.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Azis Nacib. Amazônia brasileira: um macrodomínio. In: *Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. p. 65-82.
- AB'SÁBER, Azis Nacib. *Amazônia do discurso à práxis*. São Paulo: Edusp, 2004. 319 p.
- AB'SÁBER, Azis Nacib. *Brasil Paisagens de exceção, o litoral e o Pantanal Mato-Grossense: Patrimônios básicos*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2006. 182p.
- AB'SÁBER, Azis Nacib. Fundamentos de Geomorfologia Costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, n. 1, p. 27-43. 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v1i1.67>. Acesso em: 20 out. 2017.

APRH. Água do mar. In: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RECURSOS HÍDRICOS - *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/aguadomar.html>. Acesso em 21 out. 2017.

BARRIAT, P.Y.; *et al.* Introduction to climate dynamics and climate modeling. *Université catholique de Louvain*, Louvain-la-Neuve Belgium. 2010. Disponível em: <http://www.climate.be/textbook>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BECKER, Bertha Koiffmann. *Amazônia: geopolítica na virada do terceiro milênio*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. 168p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Folha SA 23. São Luís e parte da Folha SA 24 Fortaleza: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso potencial da terra. In: *Projeto Radam Brasil*. Rio de Janeiro, v. 3. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=CPAC&busca=autoria:%22PROJETO%20RADAMBRASIL.%22>. Acesso em: 19 set. 2017.

BRASIL. Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre alterações no Código Florestal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm. Acesso: 14 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, 2008. (ISBN 978-85-7738-112-8). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7562?Itemid=866>. Acesso em: 16 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Zonas costeiras. *O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*, pp. 237-262, Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>> Acesso em: 17 out. 2017.

COELHO, Carlos Daniel Borges *et al.* Avaliação de riscos e modelos de previsão da evolução da configuração costeira. In: JORNADAS DE HIDRÁULICA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE, 2006, Porto. Anais... Porto: Faculdade De Engenharia Da Universidade Do Porto. 2006. p. 17-25. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_1as/RevistaHidr%D0%B0ulica3_AvaliacaoDeRiscos_VERFINAL.pdf. Acesso em: 15 ago. 2017.

COELHO, Carlos Daniel Borges *et al.* Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira. Aveiro, 2005, 405 f. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ - COHAB. Aerolevante de Salinópolis. Salinas, 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Cartas Geológica do Brasil ao milionésimo. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Carta-Geologica-do-Brasil-ao-Milionesimo-298.html>. Acesso em: 15 out. 2017

COSTA, João Batista Cena *et al.* A evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará. *Geociências*, São Paulo, v. 12, n. 2. 1993. p. 373-396.

COSTA, João Batista Cena *et al.* Neotectônica da região Amazônica: aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. *Geonomos*, Minas Gerais, v. 4, n. 2. p. 23-44. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>. Acesso em: 12 dez.2017

CUTTER, Susan L. Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, n. 93. 2011. p. 59-69.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA NACIONAL - DHN. Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte. Brasília, 2017. Disponível em: www.marinha.mil.br/dhn/. Acesso em: 14 fev. 2017.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA NACIONAL - DHN. *Tabua de Marés de Salinópolis dos anos de 2005 a 2016 (s/d)*. Marinha do Brasil, Brasil. Disponível em:<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>>. Acesso 15 jan. 2017.

EKSTRÖM, Marie; *et al.* The method of producing climate change datasets impacts the resulting policy guidance and chance of mal-adaptation. *Climate Services*, v. 4. 2016. p. 13–29.

EL-ROBRINI, Maâmar; *et al.* Erosão e progradação no Pará. In: MUEHE, Dieter (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em:

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2016. Disponível em: <https://Www.Cnpm.Embrapa.Br/Projetos/Relevobr/Download/Pa/Pa.Htm>. Acesso em: 14 fev. 2017.

FERNANDES, ELISA HELENA; JUNIOR, OLINTO; CUCHIARA, DÉBORA. Ondas. In: CASTELLO, Jorge Pablo; KRUG, Luís C. (org.). *Introdução às ciências do mar*. Pelotas: Textos, 2015. p. 196-225. FRANÇA, Carmena Ferreira de; SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagem landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 127-136, 2003. Disponível: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9877>. Acesso em: 17 jul. 2017.

GERMANI, Yana Friedrich; *et al.* Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 15, n. 1, mar. 2015. p. 121-131.

GÓES, Ana Maria; *et al.* Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. Belém: *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1990, n. 2, p. 3-15. (Ciências da Terra). Disponível em: <https://biblat.unam.mx/pt/revista/boletim-do-museu-paraense-emilio-goeldi-serie-ciencias-da-terra/2> Acesso em: 15 fev. 2017.

GONÇALVES, Carlos Walter Porto. *Amazônia, amazônias*. São Paulo: Contexto, 2008. 178p.

GORNITZ, Vivien. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 89, p. 379-398. mar. 1991. (Global and Planetary Change Section/Elsevier Science).

GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE (ICLEI). *Adaptação baseada em Ecossistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas*. 2 ed. Curitiba: ICLEI/Boticário, 2015. 82p. Disponível em: <http://goo.gl/zpAg8H>. 11 mar. 2017.

GUTIERREZ, Benjamin; *et al.* *Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States*. Virginia: Geological Survey, 2014. 26 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141083>> Acesso em: 13 ago. 2016.

ICLEI. *Adaptação baseada em ecossistemas. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas*. Curitiba. Iclei/Fundação Boticário, 2015.

ICLEI. *Programa Cidades Sustentáveis: Guia de Ação Local pelo Clima*. São Paulo, Brasil, ISBN 978-85-99093-29-0, Iclei, 2016.

LIMA, Márcia; COELHO, Carlos. O modelo de evolução da linha de costa LTC: pressupostos, evolução, validação e aplicação. *Revista da Gestão Costeira Integrada (Online)*, v. 17, n. 1, p. 5-17. nov. 2017.

MELO, Paulo Alves. *Apropriação da natureza e sensibilidade ambiental de paisagens costeiras: proposições para a gestão ambiental da urbana de Salinópolis-PA*. Belém, 2008, 96p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará.

MENDES, A.C; SILVA, M.S; SANTOS, V.F. Análise do meio físico para gestão ambiental das ilhas de Algodual e Atalaia (NE do Pará). In: PROST, Maria Tereza; MENDES, Amílca Carvalho (org.). *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. Museu Paraense Emílio Gueldi*, Belém, p. 103-111. 2013.

MIGUENS, Altineu Pires. *Navegação Costeira, estimada e em Águas Restritas* In: *Navegação: a ciência e a arte*. v. 1. Rio de Janeiro: *Diretoria de Hidrografia e Navegação*. 1996. 538p. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/npublicacoes>> Acesso em: 14 fev. 2017.

MUEHE, Dieter (Org.). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: *Ministério do Meio Ambiente*, 2006. 476 p.

MUEHE, Dieter (Org.). NICOLODI, João Luiz. Geomorfologia. In: ZAMBONI, Ademilson; NICOLODI, João Luiz (Org). *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2008. p. 23-41.

MUEHE, Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator*, Fortaleza, v. 4, n. 7, nov. 2008. p. 97-110. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>. Acesso em: 15 fev. 2017.

MUEHE, Dieter. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: GUERRA, Antônio José; CUNHA, Sandra Baptista da. (Org.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.273-349.

MUEHE, Dieter; ROSMAN, Paulo. Orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In: *Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro*. São Paulo: CST/INPE e NEPO/UNICAMP. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/264383509_Vulnerabilidades_das_megacidades_basileiras_as_mudancas_climaticas_Regiao_Metropolitana_de_Sao_Paulo_-Relatorio_Final. Acesso: 14 fev. 2017.

MUSA, Zahrah Naankwat; POPESCU, I.; MYNETT, Arthur. (2016). Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta. *Ocean&Coastal Management*, v. 130, p. 221-228. out. 2016.

NASCIMENTO JÚNIOR, Wilson da Rocha. *Análise da dinâmica das áreas de manguezal no litoral norte do Brasil a partir de dados multisensores e hidrossedimentológicos*. Belém, 2016, 154 p. Tese de Doutorado em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.

NETO, Miranda. *O dilema da Amazônia*. Rio de Janeiro: Vozes, 1976. 232p.

NEVES, Claudio Freitas.; MUEHE, Dieter. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira. *CGEE/Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 27, dez. 2008. p. 217-296. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325>. Acesso em: 14 fev. 2017.

NICHOLLS, Robert; *et al.* Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIRE's Clim Change*, v. 5, ed. 1, p. 129–150. out. 2013.

ODEKU, Kolawole O. Climate change: strengthening mitigation and adaptation in South Africa. *Journal of African Law*, Londres, vol. 54, n. 2, p. 159-183. 2010.

PEREIRA, Carla. COELHO, Carlos. Mapping Erosion Risk Map under different Scenarios of Climate Change for Aveiro Coast, Portugal. *Natural Hazards (Springer)*, v. 69, n. 1, out. 2013. 121 p.

PEREIRA, Carla; COELHO, Carlos. Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar (Coastal Risk Maps DuettoWavesAction). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Portugal, v. 13, n. 1, p. 27-43. 2013.

PROST, Maria Thereza Ribeiro Costa; *et al.* Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: *Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*.

PROST, Maria Thereza Ribeiro Costa; MENDES, Amílcar Carvalho (Org.). Belém: *Museu Paraense Emílio Gueldi*. p. 75-87. 2013.

RANIERI, Leilanne; EL-ROBRINI, Maâmar. (2016). Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, Lisboa, v. 16, n. 2, p. 133-146.

RANIERI, Leilanhe; EL-ROBRINI, Maâmar. Evolução da linha de costa de Salinópolis, nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 42, n. 3, p. 207-226, set.-dez. 2015.

REIS, M. C.; MENDES, A. C. Análise crítica sobre o plano de urbanização da orla do Maçarico - Salinópolis/PA. *Traços*, Belém, v. 4, n. 7, p. 2015.

RIBON, Hully Cordovil; *et al.* Turismo como potencial para promoção do desenvolvimento local sustentável no Atalaia, em Salinópolis/PA. *Revista Grifos*, Chapecó, v. 26, n.43, p. 96-132. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22295/grifos.v26i43>. Acesso em: 12 out. 2017.

ROSSETI, Dilce de Fátima. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP Série Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18, out. 2006. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27420/29192>> Acesso em: 13 nov. 2017.

ROSSETI, Dilce de Fátima. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wavedominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 133, p. 295-324, 2000.

ROSSETI, Dilce de Fátima; TRUCKENBRODT, Werner Hermann Walter.; GÓES, A. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* (Série Ciências da Terra), Belém, v. 1, p. 25-72, 1989. Disponível em: <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/623>. Acesso em: 15 out. 2017.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO DE AMBIENTE DE SALINÓPOLIS - SEMMA. Salinópolis, 2015.

SIOLI, Harald. *Amazônia: fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais*. Rio de Janeiro: Vozes, 1985. 72p.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, p. 427- 435. dez. 2005.

SOUZA, Celia Regina; *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, Célia Regina de Gouveia; SUGUIU, Kenitiro; OLIVEIRA, Antonio Manuel dos Santos, Oliveira, Paulo Eduardo de (Org). *Quaternário do Brasil*. São Paulo: ABEQUA/Holos, 2005. p. 130-152.

SOUZA, Celia Regina; *et al.* A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 17-37. 2009.

SOUZA, Deiliany Lima. Urbanização Turística, Políticas Públicas e Desenvolvimento: O Caso e Salinópolis/PA. *Geografia em Questão*, Paraná, v. 7, n. 1, p. 65-86. 2014.

STEMBERG, Hilgard O'Reilly. Reflexões sobre o desenvolvimento e o futuro da Amazônia. In: RIBEIRO, H (Org.). *Estudos Amazônicos: dinâmica natural e impactos socioambientais*, p. 35-52, *Edusp*, São Paulo, Brasil. 2012.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian, *et al.* Referências Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades. Brasília: *Ministério do Meio Ambiente/GTZ*, 2010. 60 p.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian. Metodologia de análise e mapeamento da vulnerabilidade na Amazônia. In: CHANG, Manyu, et al. (Org.). *Metodologias de estudo de vulnerabilidade à mudança do clima*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 107-126.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian; STERR, Hosrt; LARA, Rúben. Estratégias e medidas de proteção contra desastres naturais na zona costeira da região amazônica, Brasil. *Terra Livre*, Goiânia, v. 1, n. 26, p. 109-125.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini; *et al.* Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel*, Porto Alegre, n. 4, p. 89-98. dez. 2006.

VALERIANO, Márcio de Morisson; ROSSETTI, Dilce de Fátima. Topographic modeling of Marajó island with SRTM data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, n. 1, p. 53-64. 2008.

WILLIAMS, S. Jeffress; *et al.* Implications of sea-level rise to the nation. In: TITUS, James. (coord.). *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*. Washington: Environmental Protection Agency, 2009. p. 179-184.

CAPÍTULO 3 - ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DIANTE DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA AMAZÔNIA: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS-PARÁ⁸

RESUMO

O Município de Salinópolis faz parte da Microrregião do Salgado do Estado do Pará, litoral de Reentrâncias da Zona Costeira Amazônica. Passou por evento de transgressão marinha, que configurou a atual Orla, qual apresenta vulnerabilidades distintas quanto à ocupação, fisiografia e ação do mar. Este artigo analisou as variáveis geológicas/geomorfológicas e oceanográficas para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira-ICV à elevação do nível do mar em Salinópolis. A costa foi classificada em sete setores de Orla. As variáveis foram: geomorfologia, geologia, cota topográfica, declividade, altura da onda, amplitude de maré, taxa de erosão atual e futura, variação relativa do nível do mar atual e futura. Os softwares utilizados foram o *ArcGis* 10.3 para a elaboração dos mapas e o *Statistical Analysis Software* (SAS) versão 9.4 para o cálculo estatístico da Tendência Estimada atual da variação do nível do mar, utilizando as séries temporais dos anos de 1951 a 1956 e 2005 a 2016. Para a variação futura do mar, foi utilizado o cenário RCP8.5 do IPCC. A análise da vulnerabilidade atual revelou três setores da Orla com Baixo IVC, dois em Moderado e dois em Alto. No IVC futuro, cinco setores apresentaram índices Muito Alto, um Alto e um Baixo. Os resultados indicam certa estabilidade atual quanto à vulnerabilidade à elevação do nível do mar. No entanto, em cenário para 2100, com elevação de um metro, a maior parte da Orla apresenta Muito Alta vulnerabilidade, podendo impactar ambientes naturais e às atividades humanas.

Palavras-chave: Mar. Orla. Índice. Vulnerabilidade. Amazônia

ABSTRACT

The Municipality of Salinópolis is part of the Salgado Microregion of the State of Pará, Rias coast of the Amazon Coastal Zone. He passed a marine transgression event, which configured the current Orla, which presents distinct vulnerabilities regarding occupation, physiography and sea action. This article analyzed the geological / geomorphological and oceanographic variables for the determination of the Coastal Vulnerability Index-ICV to the sea elevation in Salinópolis. The coast was classified in seven sectors of Orla. The variables were: geomorphology, geology,

⁸ Artigo publicado na *Revista Brasileira de Geografia Física (Brazilian Journal of Physical Geography)*. Qualis B2 em Ciências Ambientais.

topographic dimension, slope, wave height, tidal amplitude, current and future erosion rate, relative current and future sea level variation. The software used was ArcGIS 10.3 for the preparation of the maps and the Statistical Analysis Software (SAS) version 9.4 for the statistical calculation of the current Estimated Trend of the sea level variation, using the time series of years 1951 to 1956 and 2005 to 2016. For the future sea variation, the IPCC scenario RCP8.5 was used. The current IVC classified three sectors of Orla in Low, two in Moderate and two in High. In the future IVC, five sectors had Very High, One High and One Low. The results indicate some current stability regarding vulnerability to sea level rise. However, in a scenario for 2100, with a height of one meter, most of the Orla presents Very High vulnerability, being able to impact natural environments and human activities.

Keywords: Sea. Orla. Index. Vulnerability. Amazonia

3.1. INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade costeira à elevação do Nível Médio do Mar (NMM) está relacionada a condição que determinados setores da orla costeira a fatores de natureza geológicas, geomorfológicas, climáticas e oceanográficas (GORNITZ, 1990, 1991; GORNITZ *et al.*, 1994; COELHO, 2005; ROAF *et al.*, 2009). No cenário atual de mudanças climáticas globais a elevação do nível dos oceanos, causada principalmente pela expansão térmica e derretimento das camadas de gelo das altas altitudes (NICHOLLS e CAZENAVE, 2010; NICHOLLS, 2013; IPCC, 2007, 2013) é consequência da emissão de gases do efeito estufa de origem antrópica que vem ocorrendo de forma mais acelerada, principalmente após a Primeira Revolução Industrial do Século XVIII (CROWLEY e BERNER, 2001; CONTI, 2005; RIBEIRO, 2008; STEFFEN, 2011; IPCC, 2013; ZHOU *et al.*, 2015; REN, 2015; NOAA, 2019). Diante desse contexto, as projeções do IPCC (2013, 2014) demonstram aumento de 4,8°C até o ano de 2100, com aumento médio de 3,7°C da temperatura global no período de 2081 a 2100 para o pior cenário. O aumento da temperatura repercute na elevação do nível dos oceanos que, para esse cenário, tem aumento médio de 0,63 m, com máxima se aproximando de 1 metro. Gornitz (1991) e Coelho (2005) entendem que as condições da costa à ação da elevação do NMM estão relacionadas às variáveis origem físicas. Tais variáveis são as seguintes: geomorfológicas, erosão e progradação da Linha de Costa, declividade da costa, variação relativa do NMM, altura significativa das ondas e amplitude de maré.

Gornitz (1991) e Cazenave e Cozannet (2014) entendem que as condições da costa à ação da elevação do NMM estão relacionadas às variáveis origem físicas. Tais variáveis são as

seguintes: geomorfológicas, erosão e progradação da Linha de Costa, declividade da costa, variação relativa do NMM, altura significativa das ondas e amplitude de maré. Uma análise do conceito de vulnerabilidade e suas diversas metodologias, tanto sociais quanto físicas é descrita por Nguyen *et al.* (2016). Esses autores abordam uma série de variáveis e fatores que podem influenciar nos três principais pilares do conceito de vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, que autores como Ferrol-Schulte *et al.* (2015) citam como fundamentais para a análise desse conceito.

A Orla marítima é uma unidade geográfica especialmente vulnerável a fenômenos naturais ligados à dinâmica costeira, como erosão, inundação costeira, marés meteorológicas, etc. Diante da complexa interação sistêmica dessas variáveis, a orla pode apresentar características distintas em sua extensão, em decorrência de sua fisiografia. Tal distinção e complexidade remetem à ocorrência de trechos costeiros que apresentam diferentes respostas aos processos naturais e atividades antrópicas, em relação à erosão e inundação costeira, causada pela elevação do NMM. Essa distinção atribui à Orla diferentes vulnerabilidades, representada pelo sistemismo existente entre as variáveis físicas costeiras, que denotam maior fragilidade, fraqueza ou passividade ante à incidência de fenômenos de potencial destrutivo, como a elevação do NMM.

Com um aumento médio de um metro do NM, projetado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), as zonas costeiras em todo mundo apresentarão diversas formas de impactos, tanto de natureza sociais como ambientais Ramesh *et al.* (2015). Para esses autores, as zonas litorâneas são as primeiras áreas do globo a serem impactadas pelo aumento do nível do mar. Isso ocorre devido serem áreas de contato imediato com os oceanos e possuir grandes extensões localizadas na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), ou seja, área com topografia até 10 metros do NMM. Essa é uma característica própria da maioria das áreas costeiras, que associada com características climáticas e oceanográficas, como ondas e marés elevam o fator de vulnerabilidade.

A projeção de um novo nível do mar em zonas costeiras origina uma nova linha costa, sendo possível prever e quantificar perdas ambientais, como também locais a serem erodidos e inundados (GERMANI *et al.*, 2015). Neste cenário, se torna evidente que a maioria das áreas costeiras é vulnerável fisicamente a estes processos de erosão e inundação causados pelo aumento do NM, desencadeando impactos ambientais. Como grandes porções costeiras são ocupadas por populações, os impactos também assumem dimensões sociais e econômicas Clara

et al. (2017) Sobre a interrelação de variáveis físicas e sociais Almeida *et al.* (2016) trazem importantes contribuições ao fazerem análise da vulnerabilidade ante às mudanças climáticas.

O nível do mar tem demonstrado aumento em diversas áreas do globo e como consequência, a Orla costeira tem sido impactada. Qu *et al.* (2019) quantificam esse aumento ao longo de alguns setores do litoral chinês. Na Holanda Wenneker *et al.* (2016) demonstram que os impactos desse aumento têm levado o governo investir em tecnologia de proteção dos diques e deposição artificial de areia ao longo da costa. Mehvar *et al.* (2019) projetam os cenários do IPCC (2013) para quantificar as perdas ambientais resultantes da elevação do nível do mar em Bangladesh. Na costa brasileira além da erosão e intrusão salina, podem ocorrer perdas ambientais, principalmente nos ecossistemas de manguezais, praias e dunas, como demonstraram Bezerra (2014) e Novelli *et al.* (2016).

Ante ao aumento do nível do mar em escala mundial, a identificação de áreas vulneráveis à essa elevação tem sido alvo de pesquisas em várias Universidades espalhas pelo mundo. Dessa forma, com o objetivo de dimensionar a vulnerabilidade física costeira, é usado, em diversas partes das zonas costeiras mundiais, o Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC. Este índice possibilita a identificação de áreas mais vulneráveis à elevação do nível do mar no litoral.

Os Estados Unidos, principalmente por meio do seu United States Geological Survey-USGS, têm aplicado essa metodologia em diversos setores do seu litoral (BORUFF *et al.*, 2005; GORNITZ, 1991. Trabalhos como os de Abuodha e Woodroffe (2006) e Gutierrez et al. (2014) também se destacam a nível mundial utilizando o IVC. Na Argentina o IVC foi aplicado em alguns setores da costa por Fernandez et. al (2017). No Brasil também se tem trabalhos desenvolvidos, como os de Santos et al. (2015) e Germani *et al.* (2015). Zanetti (2016) apontam algumas áreas do Brasil mais vulneráveis aos impactos de uma possível subida do nível do mar. Os impactos da subida do mar têm levado governos locais a elaborarem planos de adaptação. No Brasil desde o ano de 2009, com a instituição da Política Nacional de Mudanças do Clima, tem se observado esforço para inserir o país nas discussões sobre consequências das mudanças climáticas, tanto que, no ano de 2016 foi estabelecido o II Plano Nacional de Adaptação (PNA/MMA, 2016). Uma das preocupações do plano é sobre os impactos da subida do nível do mar em áreas costeiras vulneráveis.

Metodologia semelhante para análise do índice de vulnerabilidade costeira é desenvolvida por Kantamaneni (2016) e Kantamaneni *et al.* (2018). Esses autores criaram um índice de Vulnerabilidade Física Costeira, considerando a interrelação das variáveis físicas locais. A importância desse estudo é a fácil aplicação e associação desse índice físico a outras variáveis,

inclusive as sociais. Outro importante trabalho de enfoque metodológico é o de Wang *et al.* (2014). Esses autores aplicam na costa chinesa o Abordagem Matricial de Risco, que engloba além das variáveis físicas, os aspectos socioeconômicos.

As metodologias de análise e aplicação do índice vulnerabilidade costeira são utilizadas em vários setores ao longo do litoral mundial. No entanto, observa-se que a maioria, deriva do clássico trabalho de Gornitz (1991).

O Brasil possui 8.694km de faixa litorânea (Linha de Costa), incluindo baías e reentrâncias, estendendo-se desde 4° 30' Norte até os 33° 44' Sul, com área aproximada de 514 mil km², dos quais cerca de 324 mil km² correspondem ao território dos 395 municípios costeiros, distribuídos em 17 Estados litorâneos. As áreas costeiras sob jurisdição nacional compreendem ao Mar Territorial, a Zona Econômica Exclusiva, que se estende desde 12 até 200 milhas náuticas ou 370,4 km da Costa, o que equivale a aproximadamente a 3,5 milhões de km², além da Plataforma Continental, definida de acordo com o art. 76 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (MMA, 2008; PNGC II, 1990).

A Amazônia possui zona costeira com extensão aproximada de 3.044 Km, ocupando 35% do total do litoral brasileiro MMA (2008), onde se localizam inumeráveis ecossistemas em diferentes níveis de vulnerabilidade física.

Cada setor costeiro da Amazônia apresenta características geológica/geomorfológicas que se assemelham à morfogênese regional e climáticas/oceanográficas particulares, como regime de ondas e marés, que o diferenciam em si e do restante da costa brasileira. O contraste demográfico e de renda também é evidente. Afora as três Regiões Metropolitanas, São Luís e Macapá, que possuem maior densidade demográfica e concentram maiores rendas, grandes extensões costeiras amazônicas apresentam incipiente ocupação com suas populações apresentando péssimos indicadores socioeconômicos (MORAES, 2007).

A Zona Costeira Amazônica (ZCA), assim como toda a paisagem costeira é herança de processos antigos, como variação do NMM e paleoclimas, modelada pela dinâmica atual, tanto por fatores físicos, como pela ação antrópica. As unidades de paisagem Bertrand (1973) ou Sistemas Ambientais Naturais e Antrópicos Muehe e Nicolodi (2008) que compõem o conjunto paisagístico do litoral amazônico é bastante diversificado sendo, principalmente, dominados por planícies lamosas, manguezais, canais de marés, praias, bancos de areia, praias, dunas, falésias. Esses sistemas modificam-se diariamente com a ação energética do mar e se apresentam em diferentes níveis de vulnerabilidade.

As zonas costeiras mundiais já passaram por processos relacionados a variação eustática, tanto de eventos transgressivos como regressivos, resultantes das mudanças climáticas Ramesh *et al.* (2015). Na costa amazônica a formação geológica de Pirabas, que aflora em diferentes áreas da costa de reentrâncias amazônicas é resultante de um processo transgressivo que ocorreu no Terciário (Rossetti, 2006). A história ecológica e ambiental da ZCA está diretamente ligada às variações do NMM.

Assim como a maioria do litoral mundial, a ZCA também já passou por processos relacionados a variação eustática, tanto de eventos transgressivos como regressivos, resultantes das mudanças climáticas do passado Souza Filho e El-Robrini (1998). A formação geológica de Pirabas, que aflora em diferentes áreas da costa de Rias⁹ amazônicas é resultante de um processo transgressivo que ocorreu no Terciário (Góes *et al.*, 1990; Rossetti, 2006). A história ecológica e ambiental da ZCA está diretamente ligada às variações do NMM

Ante o exposto, a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira IVC à elevação do NMM, metodologia adotada neste trabalho, será aplicada no Município de Salinópolis. O objetivo é determinar o IVC por setores, levando em consideração variáveis físicas, tais como geologia, geomorfologia, marés, altura da onda em águas rasas, declividade da costa, cota topográfica, taxa de erosão e variação relativa do nível do mar. Considerando a importância do Município para a economia regional, principalmente com o Turismo, a presença de diversos sistemas naturais e a ocupação humana da costa, a determinação do IVC de Salinópolis constitui-se, além de uma aplicação prática da metodologia, também um instrumento a ser utilizado por gestores para planejamento de possíveis áreas impactadas pela ação do mar, bem como, políticas de adaptação local da população, social e ambientalmente mais vulnerável.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

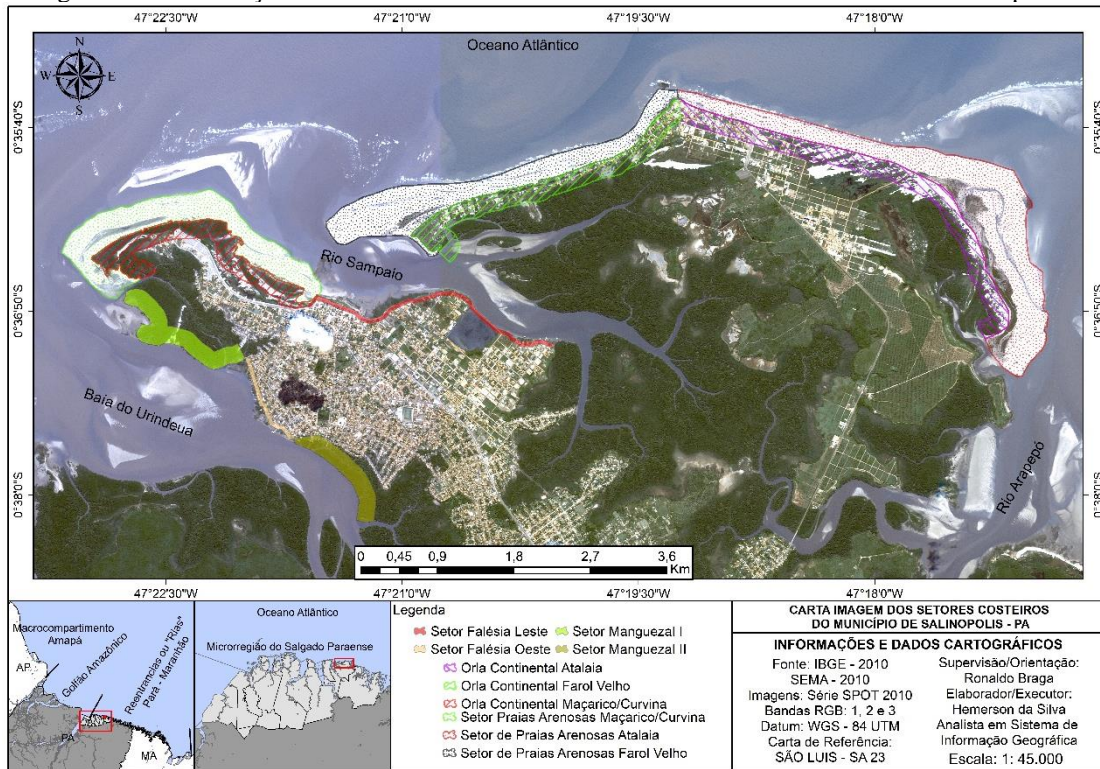
A área selecionada é o Município de Salinópolis (Figura 1), inserido no Litoral de Rias da ZCA. Esta, está localizada entre os paralelos 4° S e 5° N e os meridianos 43° W e 51° W, entre o Cabo Orange (Amapá) e a Ponta de Tubarão (Maranhão), medindo, cerca de, 2.250 km de extensão, sem considerar as reentrâncias (recortadas por dezenas de estuários) e as ilhas costeiras (SOUZA FILHO *et al.*, 2005).

Salinópolis possui aproximadamente 54 km de litoral e integra a costa de reentrâncias ou Rias da Microrregião do Salgado do Estado do Pará, Nordeste da ZCA (MUEHE, 2003). Possui

⁹ Tipo de costa de submersão, caracterizada por apresentar vales muito longos com foz em forma de trombeta. No Litoral brasileiro as rias podem ser encontradas na costa leste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão (Guerra e Guerra, 2003).

características de natureza física que se assemelham ao contexto regional, mas que são singulares quando comparadas ao restante da Zona Costeira Brasileira. A região costeira apresenta clima quente e úmido e o total médio de precipitação é um dos maiores do mundo, atingindo valores de 3.300 mm. O principal sistema meteorológico que causa as chuvas na Região é a Zona de Convergência Intertropical (FIGUEROA e NOBRE, 1990; MARENGO, 1995). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo e seus setores de Orla classificados.

Figura 3.1- Localização da área de estudo com a divisão dos subsetores costeiros em Salinópolis-Pará.



Fonte: Elaborada pelo autor

Índice de Vulnerabilidade Costeira à elevação do nível do mar (IVC) – Dentre a vastidão de literatura sobre o conceito de vulnerabilidade Coelho (2005), escolhemos nos basear no trabalho de Gornitz (1991), pois relaciona as condições dos setores costeiros à ação da elevação do NMM. Para este autor a vulnerabilidade é entendida como a condição de setores costeiros a partir da inter-relação entre as variáveis físicas. Tais variáveis são as seguintes: geomorfológicas, erosão e progradação da Linha de Costa, declividade da costa, cota topográfica, variação relativa do NMM, altura significativa das ondas e amplitude de maré.

Para a identificação o Índice de Vulnerabilidade Costeira IVC, subdividimos a Costa de Salinópolis da seguinte forma: **Setor Maçarico/Corvina** e **Setor Farol Velho/Atalaia**. O primeiro subdivide-se em cinco subsectores: Costa de Falésias Leste e Oeste, Praias arenosas Maçarico/Corvina e Setores de Manguezal I e II; o segundo subdivide-se em dois subsectores: Setor praia do Farol Velho e Setor praia do Atalaia (Figura 1 e Tabela 1). A inserção da variável topografia por setores na área permitiu a classificação de uma nova tipologia de falésias baseada na altitude.

A determinação tipológica de cada setor baseou-se em modificações da metodologia do Projeto Orla (PROJETO ORLA, 2006): Os critérios para definição dos setores costeiros ou

orla marítima¹⁰ de Salinópolis foram: configuração da costa, geomorfologia da costa e altimetria. Para a delimitação da faixa emersa: critérios do Projeto Orla (50 e 200 metros para orla urbanizada e não urbanizada, respectivamente); para a delimitação da faixa submersa: limite externo da praia em maré baixa, base da falésia e faixa externa de manguezal.

Tabela 3.1- Subsetores, extensão, área e tipos de Orla Costeira do Município de Salinópolis-Pará.

Subsetores	Extensão (m)	Área total (m ²)	Área da faixa emersa (m ²)	Tipo de Orla
Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina	5.186,19	1952502,56	713.972,461	Exposta e Não Urbanizada
Costa de Falésias Leste	3.279,65	160902,826	160902,826	Semi-exposta e Urbanizada
Costa de Falésias Oeste	1.221,30	58867,51	58867,51	Abrigada e Urbanizada
Setor de Manguezal I	2.288,97	388692,983	388692,983	Abrigada e Não Urbanizada
Setor de Manguezal II	1.525,66	268161,979	268161,979	Abrigada e Não Urbanizada
Praia do Farol Velho	6.266,66	2103704,51	804.159,428	Exposta e Parcialmente Urbanizada
Praia do Atalaia	7.483,98	3260130,88	1.031.385,62	Exposta e Parcialmente Urbanizada

Fonte: Elaborada pelo autor

Cálculo da Vulnerabilidade Costeira à elevação do Nível do Mar - A determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira à elevação do Nível do Mar de cada setor foi calculada de acordo com a Equação 1 e a Quadro 1.

Equação 3.1- Desenvolvimento da equação para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira.

$$IVC = \left[\frac{1}{n} (a1 * a2 * a3 * \dots * an) \right]^{1/2}$$

$$IVC = \frac{\sqrt{(a*b*c*d*e*f*...n)}}{n}$$

Fonte: Gornitz (1991).

¹⁰ A Orla marítima pode ser definida como unidade geográfica inclusa na zona costeira, delimitada pela faixa de interface entre a terra firme e do mar. Podem ser do tipo costas rochosas (altas e baixas); falésias erodíveis; praias arenosas; praias de seixos; planícies lamosas; pântanos; manguezais; e formações recifais (Projeto Orla, 2006).

Quadro 3.1- Variáveis e valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC.

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia (GM)	Costa de falésias alta passivas ¹¹	Costa de Falésias médias passivas	Costa de Falésias baixas passivas	Costa de falésias ativas ¹²	Praias arenosas e planícies de marés.
Cota Topográfica (CT) metros	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Variação Relativa do Nível do Mar (mm/a)	≤ - 1,1	- 1.0-0.99	1.0-2.0	2.1-4.0	≥ 4.1
Taxa de erosão ou acreção (m ² /a)	≤ 2,1 Acreção	1,0 – 2,0 Acreção	- 1 – (+ 1) Estabilidade	-1,1 – (- 2,0) Erosão	≥ - 2 Erosão
Declividade da costa (DC)%	>1,2 Alta declividade	1,2 a 0,9 Alta declividade	0,9 a 0,6 Média declividade	0,6 a 0,3 Baixa declividade	< 0,3 Muito baixa declividade
Altura significativa da Onda (m) (AO)	<0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	> 1, 25
Amplitude da Maré (m) (AM)	< 1.0	1.0 – 2.0	2.0 - 4.0	4.0 – 6.0	> 6

Fonte: Modificada pelo autor de Gornitz (1991) e Germani et al. (2015).

O IVC por setores foi classificado a partir dos seguintes intervalos: abaixo de 8,7 são incluídos na categoria de **BAIXA** vulnerabilidade; valores entre 8,7 - 15,5 são considerados de vulnerabilidade **MODERADA**; valores entre 15,6 e 20 indicam **ALTA** vulnerabilidade; valores de IVC acima de 20 são classificados como de vulnerabilidade **MUITO ALTA** (Tabela 2). Após a determinação do IVC para cada variável foi obtido o IVC geral para os sete setores de Orla em estudo.

¹¹ As falésias passivas em Salinópolis são escarpamentos de alturas variadas que não são na atualidade solapadas com a ação energética dos agentes exodinâmicos, tais como ondas, marés e correntes longitudinais (GUERRA E GUERRA, 2003)

¹² Escarpamentos que são atingidos e solapados diariamente pela ação dos agentes exodinâmicos (GUERRA E GUERRA, 2003)

Tabela 3.2- Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica.

Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Até 8,6	8,7 a 15,5	15,6 a 19,9	≥ a 20

Fonte: Gornitz (1991) e Germani et al. (2015)

Geomorfologia - Foi determinada a partir de observações em campo, análise de imagens de satélite (SPOT/2010) de 2,5 metros de resolução espacial, leituras de artigos relacionados ao tema, como Ranieri e El-Robrini (2015); Melo (2009); BRASIL (1973), folha South American-SA 23 e análise topográfica de aerolevanteamento da parte urbana da cidade. Também foram classificadas as falésias de acordo com a topografia em: falésias baixas, entre 0 até 2 metros; falésias médias, maior que 2 e inferiores a 5 metros e falésias altas, superiores a 5 metros.

Taxas de Erosão - A maioria dos trabalhos sobre a progradação e retrogradação da Linha de Costa são realizados com a análise multitemporal de imagens de sensor orbital. Três metodologias são normalmente utilizadas para estudo das mudanças da linha de costa (MORRE, 2000; CONTI; RODRIGUES, 2011): A Linha de Contato Água/Solo, determinada, principalmente a partir de mascaramento da água por banda infravermelho próxima; A Linha de Deixa, ou máximo de inundação em tempestades), normalmente determinada a partir de bandas na faixa do vermelho TM3 Landsat; A linha de Limite da Vegetação, obtida através de análise visual de bandas pancromáticas, composições coloridas. Desde o ano de 2003, tem-se utilizado uma nova metodologia com base na linha digital de costa, a Digital Shoreline Analysis (DSAS), desenvolvido por Thieler *et al.* (2003) e utilizada como extensão em Software de geoprocessamento. Todas essas metodologias são possíveis de serem utilizadas para análise das mudanças da linha de costa. Neste artigo utilizou-se os Limites da Vegetação, indicada para longos períodos. Dessa forma, foram utilizadas as imagens LandSat dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2015 e 2016 (Quadro 2), esta última, foi utilizada como base para a projeção da linha de costa de 2100. O cálculo da variação da linha de costa futura foi realizado pela delimitação e quantificação da taxa de erosão projetada para o ano de 2100 a partir de um metro de elevação do NMM, de acordo com o cenário RCP8.5 do IPCC (2013).

Quadro 3.2- Características das imagens orbitais utilizadas no estudo multitemporal da variação da linha de costa em Salinópolis-Amazônia.

Imagem	Informações Gerais	Combinação de bandas utilizadas
1984 LANDSAT 5	Data de aquisição: 27/07/1984 Resolução espacial: 30m	Bandas: 5,4,3
1994 LANDSAT 5	Data de aquisição: 21/06/1994 Resolução espacial: 30m	Bandas: 5,4,3
2004 LANDSAT 5	Data de aquisição: 04/09/2004 Resolução espacial: 30m	Bandas: 5,4,3
2015 LANDSAT 8	Data de aquisição: 02/08/2015 Resolução espacial: 30m	Bandas: 6,5,4
2016 LANDSAT 8	Data de aquisição: 08/06/2016 Resolução espacial: 30m	Bandas: 2,3,4,5,6,7

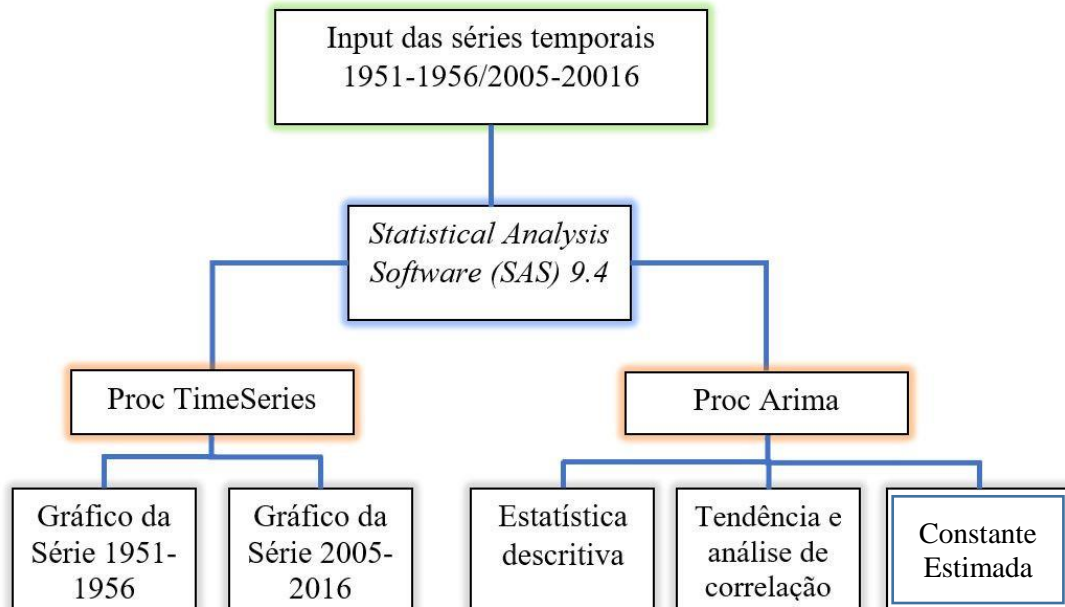
Fonte: Elaborado pelo autor

Declividade e Cota Topográfica - Foram calculadas a partir da confecção do Modelo Digital de Elevação Terreno (MDET) do Município de Salinópolis. Com manipulação do Software ArcGis 10.3 foi possível a confecção dos mapas temáticos e posterior determinação da declividade e cotas topográficas por setores de Orla. Sobre o MDET foi traçado perfil transversal usando a estensão 3D Analyst do ArcGis 10.3.

Variação relativa do Nível do Mar - Foram utilizados dois tipos de informações: (a) dados locais, que consistiram em séries temporais de dois intervalos: a dos anos de 1951 a 1956, obtidos do banco de dados do Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, 2017) e dos anos de 2005 a 2016, obtidos da Tabua de Marés, junto a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH, 2016); (b) dados gerais, obtidos da projeção do cenário RCP8.5 do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas AR5 IPCC (2013), que projeta a elevação do NMM em aproximadamente um metro até o ano de 2100.

Com esses valores, duas variações do NMM foram determinadas, a atual e a futura. Na atual utilizou-se o procedimento estatístico referentes aos estudados para séries temporais, com manipulação do *Statistical Analysis Software* (SAS) versão 9.4, utilizando o pacote PROC TIMESERIES e PROC ARIMA. Fez-se o processamento separadamente das séries devido a carência de dados dos intervalos, cujo procedimento simplificado está na Figura 2.

Figura 3.2- Esquema simplificado de análise em séries temporais para cálculo da constante estimada da variação do NMM em Salinópolis.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na variação futura, com dados gerais, dividiu-se o valor em milímetros da projeção RCP8.5 pela diferença de anos de 2013 a 2100 (Equação 2).

Equação 3.2- Fórmula para determinação da variação relativa futura do NMM com base na projeção do IPCC para o ano de 2100.

$$Vr = RCP8.5 / (2100 - 2013) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Vr = Variação relativa do NMM

RCP8.5 = Cenário de elevação do NMM até o ano de 2100, equivalente a 1000mm.

Fonte: Germani et al. (2015)

Altura significativa das ondas - Os dados gerais de ondas de Salinópolis foram adquiridos do banco de dados do CPTEC/INPE: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e os valores locais para os setores de praias foram extraído de Ranieri e El-Robrini (2016).

Amplitude da maré - De acordo com autores como França (2003), Muehe (2003, 2006), Muehe e Nicolodi (2008) e El-Robrini *et al.* (2006), na costa de reentrâncias do Litoral Norte da ZCA, as marés são classificadas como macro marés semi-diurnas¹³, cuja amplitude varia

¹³ A marés semi-diurnas apresentam duas **Premar PM** e duas **Baixa-mar BM** no período de 1 dia lunar, sendo o intervalo de tempo entre uma **PM** e a **BM** consecutiva de pouco mais de 6 horas. Normalmente, há apenas variações relativamente pequenas nas alturas de duas **PM** ou de duas **BM** sucessivas. No Brasil, as **marés semi-diurnas** são observadas da cidade de Vitória, ES em direção a região Norte.

entre 4,5 a 5,5 metros. De acordo com o modelo Soft ware WTides¹⁴, processado para Salinópolis, o padrão de marés claramente evidencia o tipo semi-diurnas, acompanhado de uma grande amplitude.

Os dados sobre amplitude da maré foram calculados a partir da Tábuas de Marés do Departamento de Hidrografia Nacional-DHN da Marinha do Brasil dos anos de 2005 a 2016. O cálculo que foi realizado procedeu-se da seguinte forma: calculou-se o Mean High Water Spring (MHWS) ou média da preamar de sizígia MHWS e Mean Low Water Spring (MLWS) ou média da baixamar de sizígia médio de cada mês. Os valores encontrados estão acima do Nível de Redução¹⁵ (NR) determinado pela Fundação de Estudo do Mar (FEMAR, 2016) e pela DHN. Em seguida utilizou-se a seguinte equação (Equação 3).

Equação 3.3- fórmula para cálculo da Amplitude de Maré

$$\text{MHWS} - \text{MLWS} = \text{AM (Amplitude de Maré)} \quad (\text{Equação 3})$$

Fonte: Miguens (1996)

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de Vulnerabilidade Costeira da variável Geomorfologia (GM) - O Município de Salinópolis apresenta uma diversidade de unidades geomorfológicas. Melo (2008) identificou as seguintes: tabuleiros costeiros (Falésias), planícies alagáveis, planícies não alagáveis, dunas, cordões arenosos, depressões interdunares e lagunares. Na área de estudo, foram identificadas e destacadas apenas três unidades geomorfológicas, que servirão para a determinação do IVC. São elas: falésias, praias e planície de maré.

Para a unidade geomorfológica de falésias, subdividimos de acordo com a altitude e disposição espacial. Dessa forma, foram classificados dois setores de falésias: Setor de Falésias Leste e Oeste. Esta subdivisão permitiu a proposição de uma nova classificação, baseada na topografia. Foram identificadas, de acordo com a altitude, três tipos de falésias: falésias baixas, entre 0 até 2 metros; falésias médias, com topografia maior que 2 e inferiores a 5 metros; falésias altas, superiores a 5 metros, sendo as duas últimas de ocorrência mais frequente.

O subsetor de Falésia Leste ocupa aproximadamente 3 km de extensão, variando em 2,9 a 17,6 metros de altura mais para o interior. O subsetor de Falésia Oeste, com extensão

¹⁴ WTides é um programa que usa dados harmônicos para prever as alturas das marés em muitos locais em todo o mundo de acordo com o fuso horário do local de destino.

¹⁵ Corresponde ao nível médio das Baixa das marés de sizígia (MLHS). É um nível em que o mar não desce ou desce raramente.

aproximada de 1,1 km apresenta falésias com 5 até 11 metros. Todas as áreas de falésias apresentam grande densidade demográfica. As falésias Oeste, são ocupadas por população de baixa renda. As do Leste apresentam habitações de alto padrão, a maioria de segunda residência¹⁶ além de hotéis e pousadas. Quase toda extensão de falésias, estão relativamente expostas à ação das ondas e das correntes de marés e longitudinais. Por esse motivo, apresentam grandes extensões de falésias ativas¹⁷. Os dois setores, estão semi-protegidos, não propriamente por estuários, mas, a ação energética das ondas e correntes, são minimizadas pelas reentrâncias que dominam a região e que, para autores como Souza Filho (1995) e França (2003) se estendem em direção ao mar, formando baías flúvio-estuarinas e vales fluviais afogados. A Tabela 3 destaca as principais baías com seus canais e a largura da foz em Salinópolis.

Tabela 3.3- Baías flúvio-estuarinas, largura da foz e canais relacionados no Município de Salinópolis.

Baías	Largura da Foz (m)	Quantidade de canais relacionados
Urindeua	3.471,08	23
Sampaio	2.135,22	14
Arapepó	3.443,86	13

Fonte: Elaborado pelo autor com rotinas de geoprocessamento e observações em campo.

Outra unidade morfológica que se destaca na paisagem costeira de Salinópolis são as planícies de marés. Estas, são quase na sua totalidade, colonizadas por vegetação de mangue, que recortam a cidade e sua diferenciação morfológica com o planalto costeiro onde se instalou a área urbana, se dá de forma abrupta, evidenciada em vários pontos.

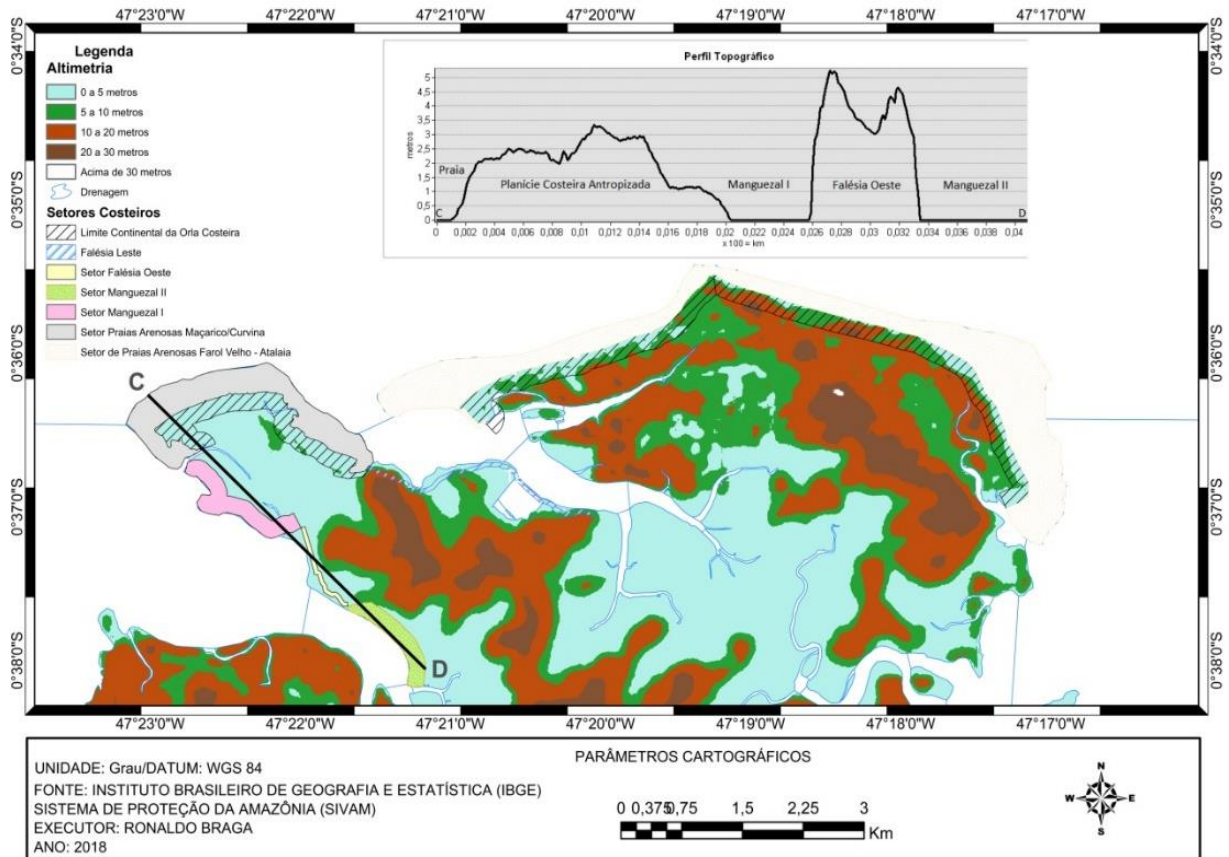
Foram identificadas quatro principais praias: Maçarico, Corvina, Farol Velho e Atalaia. Estas unidades geomorfológicas ocupam grande extensão da área e é a unidade mais dinâmica com relação à remoção de sedimentos pelo mar.

Devido à expansão urbana do Município e à política de incentivo ao turismo do Governo do Estado do Pará, extensas áreas das planícies de marés, dunas e praias vêm sendo, ou ocupadas por população de baixa renda ou sendo alvo de instalação de infraestruturas permanentes de incentivo ao turismo (MARINHO, 2009; SOUZA; ROCHA, 2018). A Figura 3 mostra a hipsometria e o perfil das unidades geomorfológicas de alguns setores costeiros.

¹⁶ Formas espaciais produtos da expansão do veraneio marítimo que se fazem na maioria das cidades situadas na zona costeira do Brasil (MORAES, 2007)

¹⁷ Formas de relevo escarpado pelo solapamento da ação do mar (GUERRA e GUERRA, 2003)

Figura 3.3- Hipsometria e perfil topográfico de Salinópolis, destacando as principais unidades morfológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do MDE, criado com imagens SRTM e pontos de Aerolevantamento e com a extensão 3D do Soft ware ArcGis.

Com a predominância dessas três unidades geomorfológicas, praias, planícies de marés e falésias de atura variável, o Índice de Vulnerabilidade Costeira à elevação do nível do mar para a variável geomorfologia foi classificado de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3.3- Classificação da vulnerabilidade para o parâmetro geomorfologia em Salinópolis de acordo com os setores selecionados.

Setores costeiros	Unidades morfológicas	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico / Corvina	Predominância de praia arenosa limitada por manguezais e dunas vegetadas	Muito Alta
Setor de falésias Leste	Predominância de Falésias Altas e Médias Ativas	Alta
Setor de Falésias Oeste	Predominância de Falésia Altas passivas	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	Planície de maré	Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	Planície de maré	Muito Alta
Praia do farol Velho	Praia arenosa	Muito Alta
Praia do Atalaia	Praia arenosa	Muito Alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

Índice de Vulnerabilidade Costeira da Variável Onda - Ranieri e El-Robrini (2016), analisando os dados modelo WWATCH do CPTEC/INPE do ano de 2013, identificaram que as alturas de ondas de águas profundas no município de Salinópolis variam de 0,5 a 1,5 metros. Em águas rasas na zona de arrebentação das praias da Corvina, Farol Velho e Atalaia, estas ondas alcançam em média 0,5 a 1 m de altura. Na face oceânica desses segmentos de Orla, as alturas das ondas incidentes são inferiores a 1,5 (MUEHE; NICOLODI, 2008).

A velocidade do vento em águas profundas de 10 a 12 m/s e direção predominante de Nordeste, formam normalmente ondas entre 3 a 4 metros de altura. Com a diminuição da intensidade do vento nas proximidades da costa, chegando entre 6 a 8 m/s, as ondas diminuem de altura, muito associado também pela configuração da costa, chegando a alturas não superiores a 1,5 metros, como já observado por Ranieri e El-Robrini (2016) e confirmado pelo Modelo WWATCH GLOBAL (CPTEC/INPE, 2017). A vulnerabilidade para o parâmetro onda está descrito na Tabela 4.

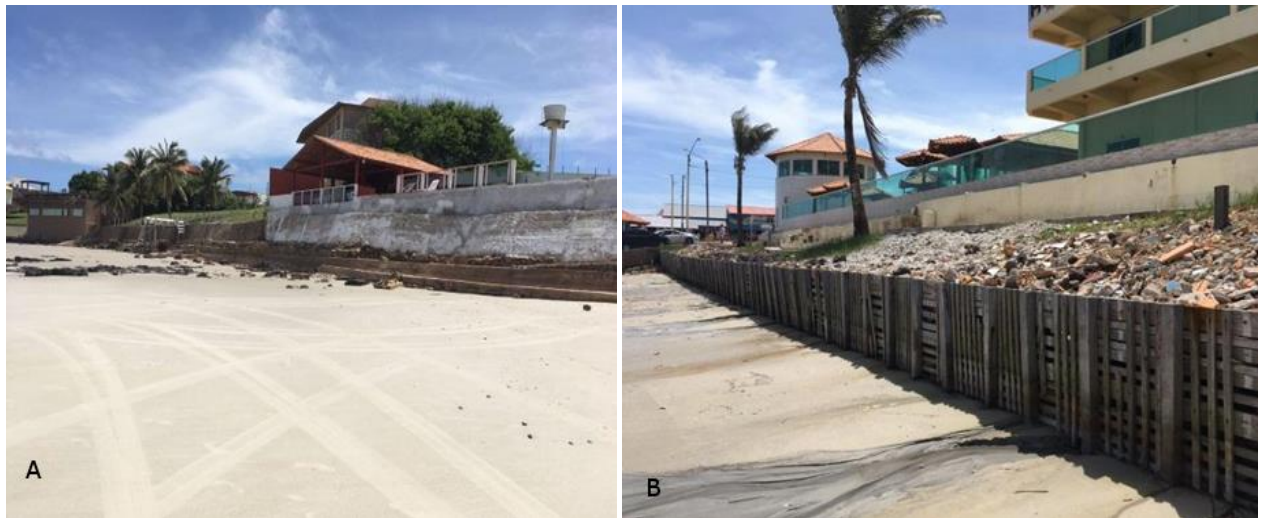
Tabela 3.4- Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados entre durante o período equinocial (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 período menos chuvoso e suas respectivas vulnerabilidades.

Setores	Altura média das ondas (m)	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina	0,6	Baixa
Setor de falésias Leste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Falésias Oeste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste II	< 0,6	Muito Baixa
Praia do farol Velho	0,9	Moderada
Praia do Atalaia	1,2	Alta

Fonte: Elaborada pelo autor com dados de Ranieri e El-Robrini (2016)

Ao incidirem sobre a costa, as ondas dissipam sua energia potencial sobre construções para o turismo e sobre o pacote arenoso das praias, provocando destruição e obrigando os proprietários a implantar medidas de contenção (Figura 4)

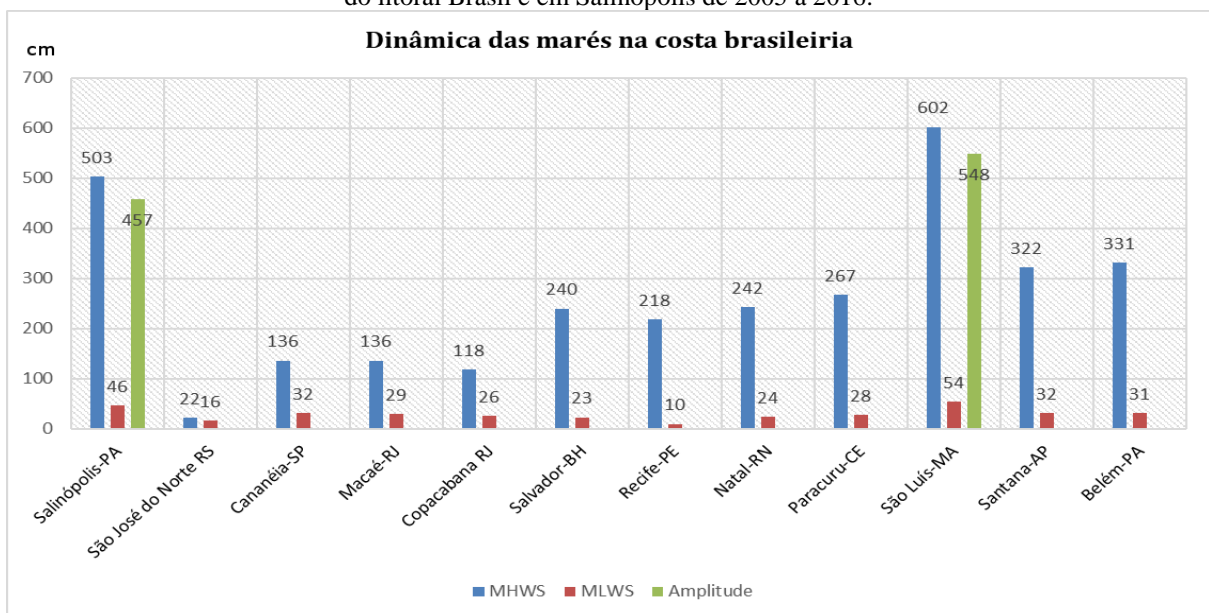
Figura 3.4- (A) Destruição de estruturas artificiais na praia do Farol Velho. (B) Tentativa de proteção com estruturas de madeira e concreto e fragmento de rocha na praia do Atalaia.



Fonte: do autor (01/2017).

Índice de Vulnerabilidade Costeira da Variável Amplitude da Maré - Em Salinópolis a Diretoria de Hidrografia Nacional-DHN, Marinha do Brasil, faz previsões diárias desde a década de 1950. As previsões para o Salinópolis podem ser consultadas em (www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare). Comparou-se os valores de Salinópolis com outras estações maregráficas, localizadas em pontos estratégicos do litoral brasileiro. Salinópolis possui a segunda maior amplitude de maré entre os principais pontos de observação desde a Região Sul até a Norte (Figura 5).

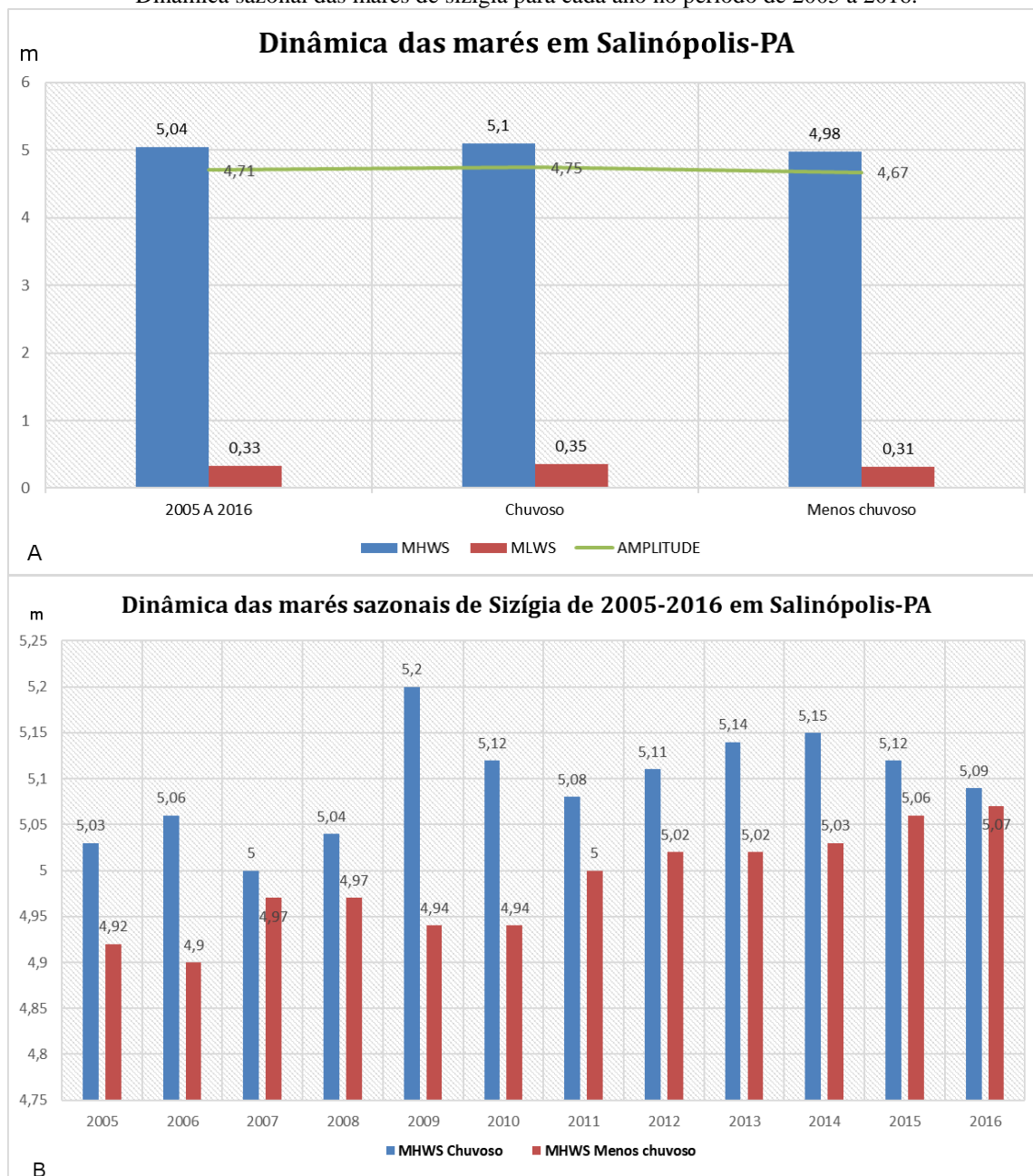
Figura 3.5- Variação das marés de Sizígia das principais estações maregráficas das Regiões Norte ao Sul do litoral Brasil e em Salinópolis de 2005 a 2016.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados das Estações Maregráficas-FEMAR e da Tábuas de Mares da Diretoria de Hidrografia Nacional-DHN.

Também foram realizados os comparativos com os dados da FEMAR (2016) e da análise das Tabuas de marés para o mesmo período de 2005 a 2016. O MHWS calculado foi de 5,04 metros acima do Nível de Redução. Esse valor, é praticamente igual ao valor oficial da FEMAR, de 5,03 metros. A amplitude de maré para os 12 anos foi de 4,71 metros (Figura 6).

Figura 3.6- (A) Marés e amplitude de marés de sizígia em Salinópolis para o período de 2005 a 2016. (B) Dinâmica sazonal das marés de sizígia para cada ano no período de 2005 a 2016.

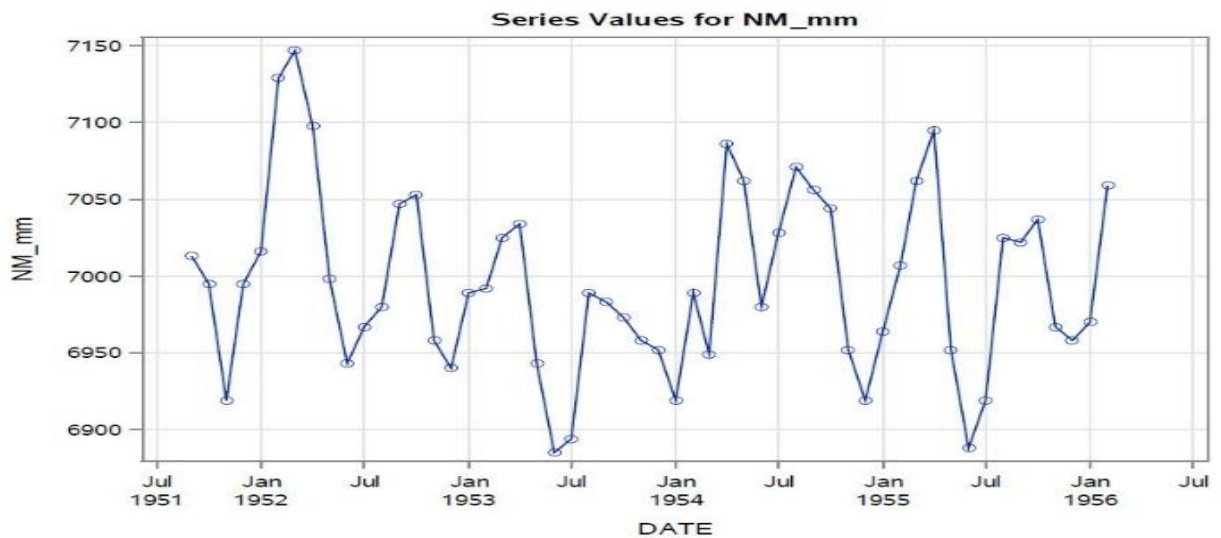


Fonte: Elaborada pelo autor com dados de Tabuas de marés da Diretoria de Hidrografia Nacional-DHN.

A análise das Tábuas de marés para 2005 a 2016 dá um valor de 4,71 metros de amplitude. Esse valor caracteriza a área como de **Alta** Vulnerabilidade. Ranieri e El-Robrini (2016) registraram as maiores marés no período equinocial, meses de março e setembro. No entanto, a Figura 6.B mostra que também a pluviosidade provoca variações nas amplitudes na área.

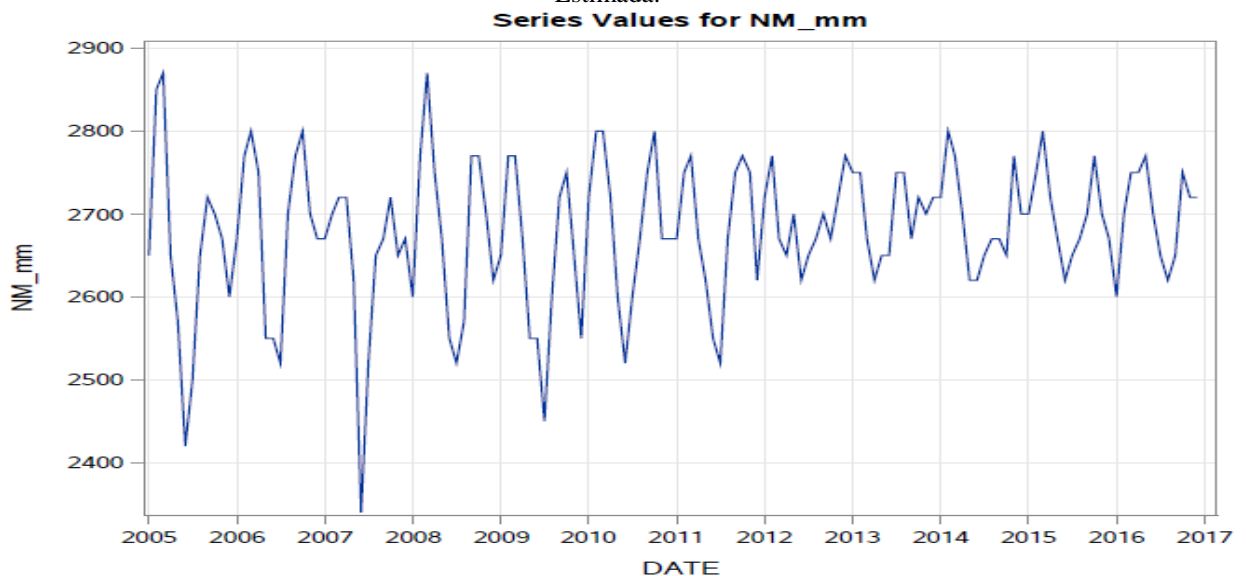
Índice de Vulnerabilidade Variável Nível Médio do Mar - Em Salinópolis não há sistema de monitoramento do Nível do Mar e no Brasil, poucos locais fazem parte da **RMPG - Rede Maregráfica Permanente para Geodésia**, sob controle do IBGE. Os valores do cálculo da variação do NMM em Salinópolis realizados com dados das Tábuas de Marés e do Permanent Serviv for Mean Sea Level-PSML (PSML, 2017) estão plotados nos gráficos. (Figuras 7 e 8).

Figura 3.7- Gráficos das variações do NMM em Salinópolis da série temporal de 1951-1956: para análise de Constante Estimada.



Fonte: Elaborado pelo autor com valores da variação do NMM da Permanent Serviv for Mean Sea Level-PSML (Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL, 2017)

Figura 3.8- Variação do NMM em Salinópolis da série temporal de 2005-2016 para análise de Constante Estimada.

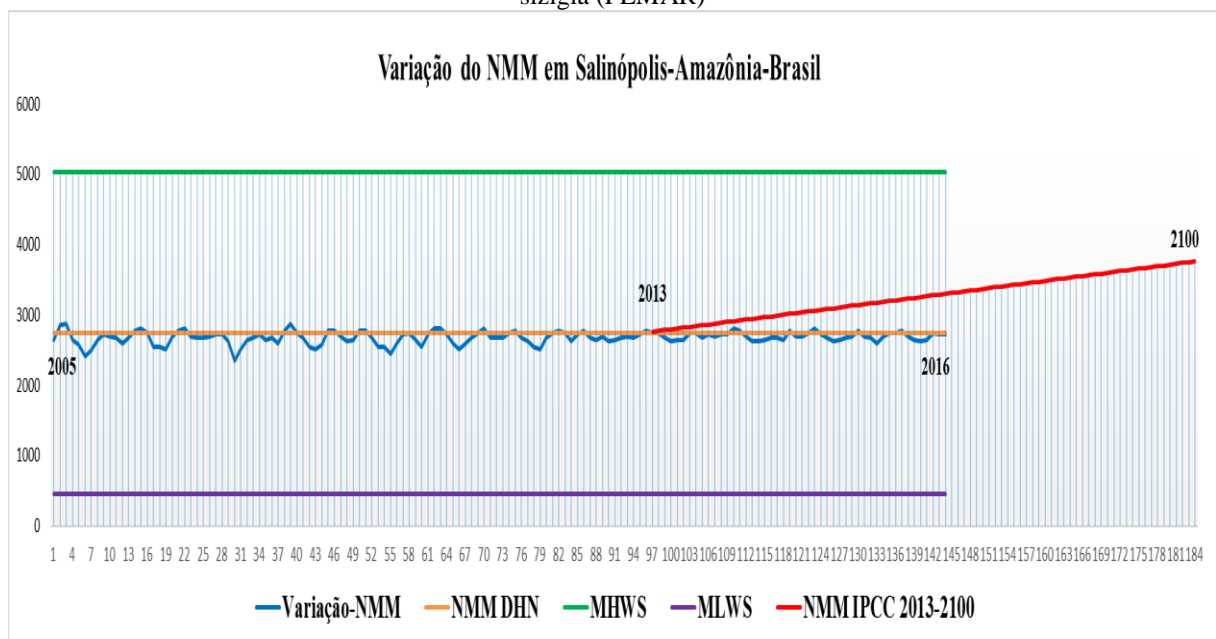


Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN. (DHN, 2016)

O valor da Constante Estimada para a série temporal de 1951-1956 é de (-0,868 mm/ano) e para a série 2005-2016 é de (-0,1288 mm/ano). Os dois valores estão inseridos no intervalo de **MUITO BAIXA** vulnerabilidade.

A projeção de um metro ou 1000 milímetros (mm) de elevação do NMM para o IVC futuro de 2013 a 2100 resultou em uma variação positiva de 11,49 mm/ano. Esse valor configura em **MUITO ALTA** vulnerabilidade para o parâmetro variação relativa do NMM. (Figura 9).

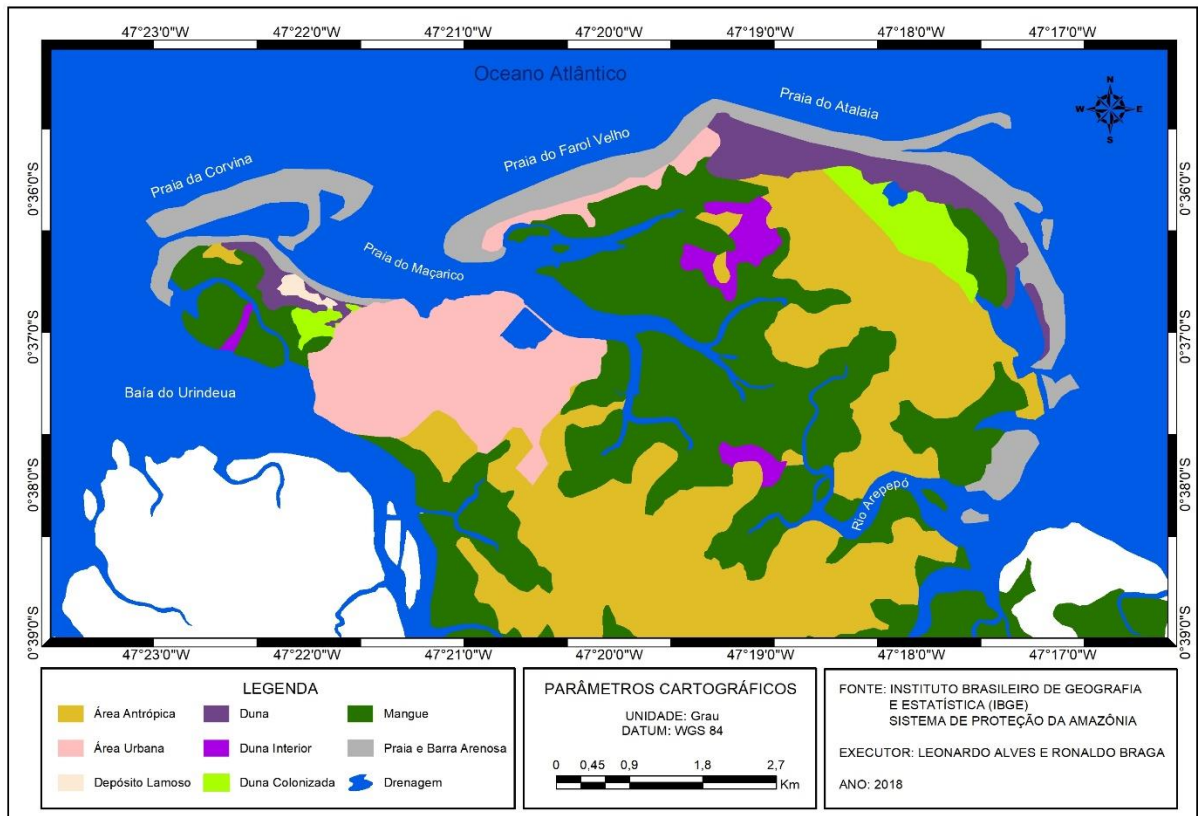
Figura 3.9- Variação do NMM em Salinópolis. Em azul: variação local para o período (2005 a 2016); em vermelho: projeção de aumento do NMM de 2013 até 2100 (IPCC, 2013); em amarelo: Nível Médio do Mar pelo DHN de 2005 a 2016; em verde: média da maré alta de sizígia (FEMAR); em roxo: média da maré baixa de sizígia (FEMAR)



Fonte: Elaborada pelo autor com dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação, da (PSMSL, 2017) e do IPCC (2013).

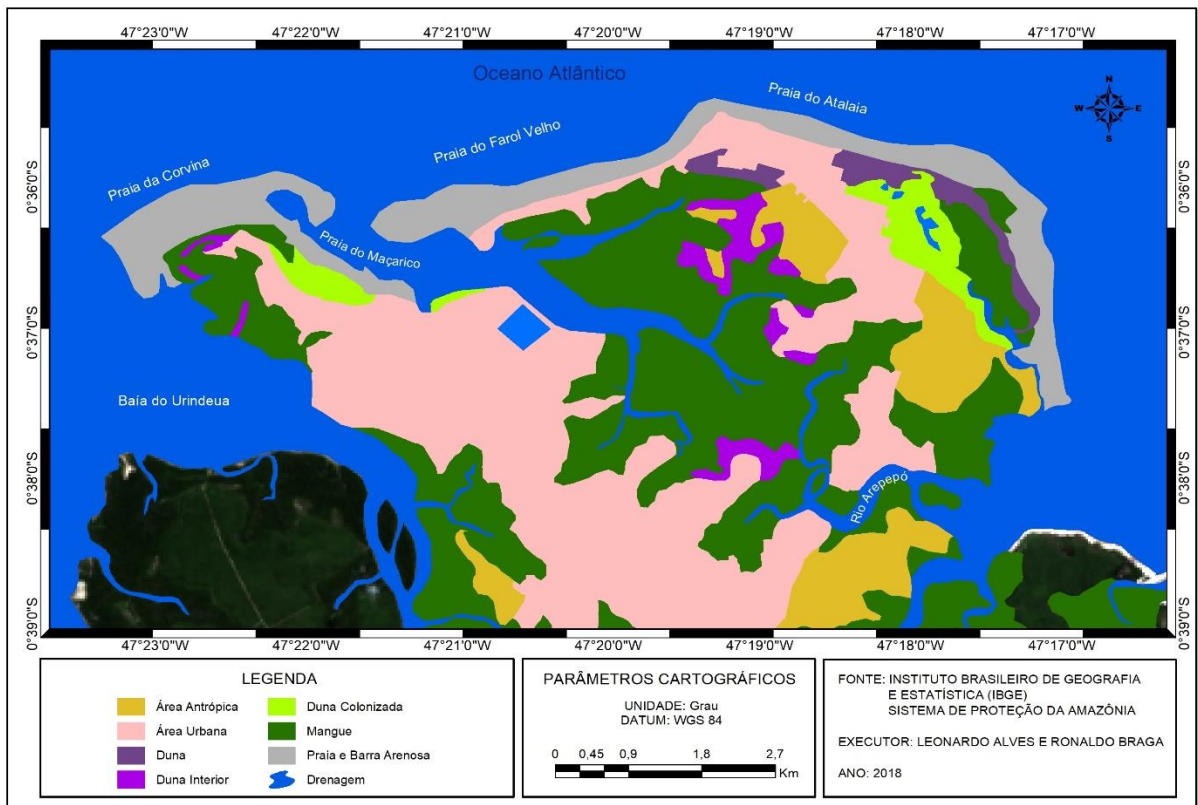
As séries de 1951-1956 e de 2005-2016 demonstraram uma tendência de recuo do NMM em Salinópolis. Essa constatação serve de base explicativa para a expansão do manguezal e para o aumento do pacote arenoso em alguns setores da Orla (Figuras 10 e 11).

Figura 3.10- Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis no ano de 1984.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3.11- Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis, ano de 2016.

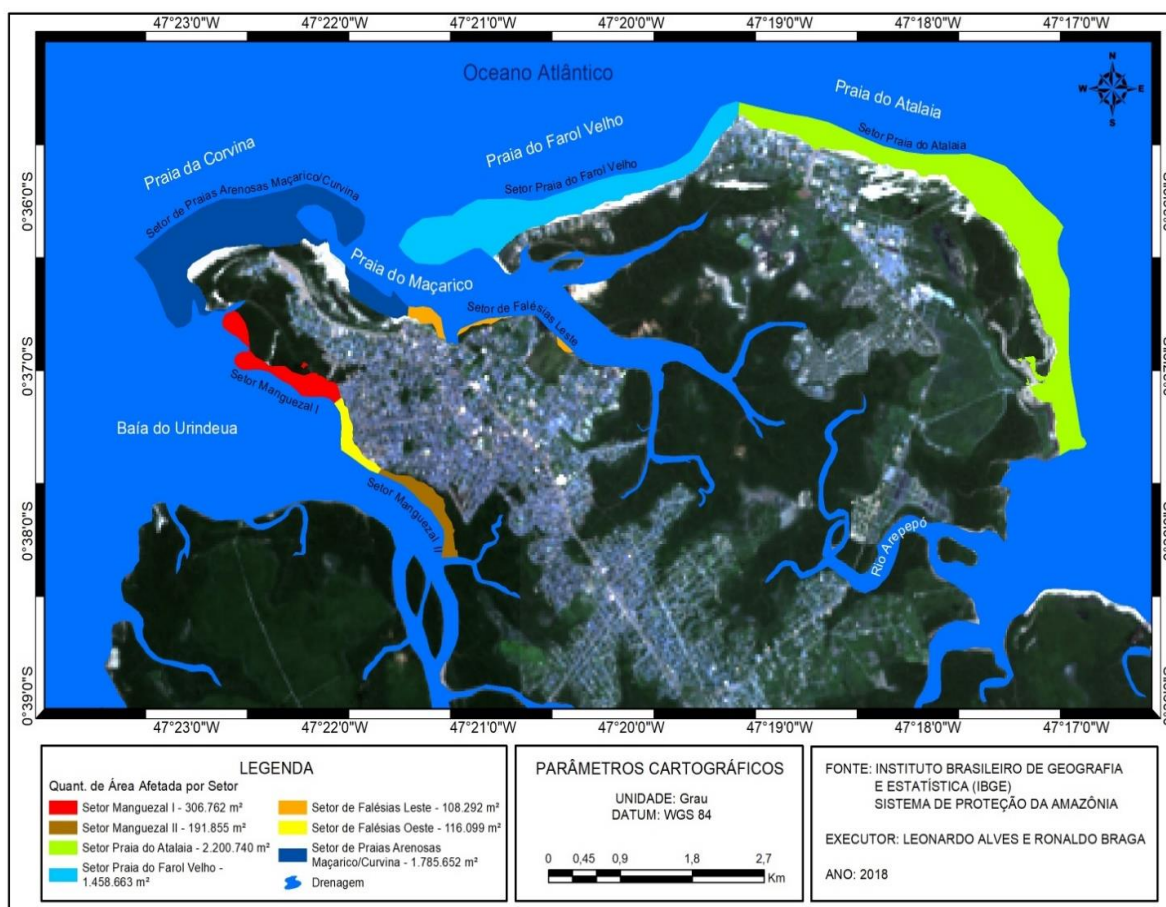


Fonte: Elaborada pelo autor

O Setor de praias do Maçarico/Corvina tem demonstrado progradação. O mesmo ocorre com o setor de Falésia Oeste, que em sua base evidencia-se a deposição lamosa, acompanhada da colonização de vegetação de mangue. Em algumas partes do Setor de Falésia Leste também se observa o mesmo processo. O pacote arenoso aumentou nas quatro principais praias: Maçarico, Corvina, Farol Velho e Atalaia.

No entanto, o aumento de um metro do NMM projetado para a região, configura a retrogradação costeira, provocando erosão, alagamentos (Figura 12). A nova linha de costa projetada demonstra um cenário de retrogradação. Neste, o processo erosivo dominará a Orla e afetará as principais unidades de paisagem: praias, dunas, mangues e falésias. Os impactos da inundação também alcançarão as estruturas humanas sobre a costa. A maior parte da Orla costeira municipal é ocupada por residências e estruturas turísticas, tais como pousadas e hotéis. As populações mais vulneráveis, que ocupam áreas de baixa topografia também serão impactadas.

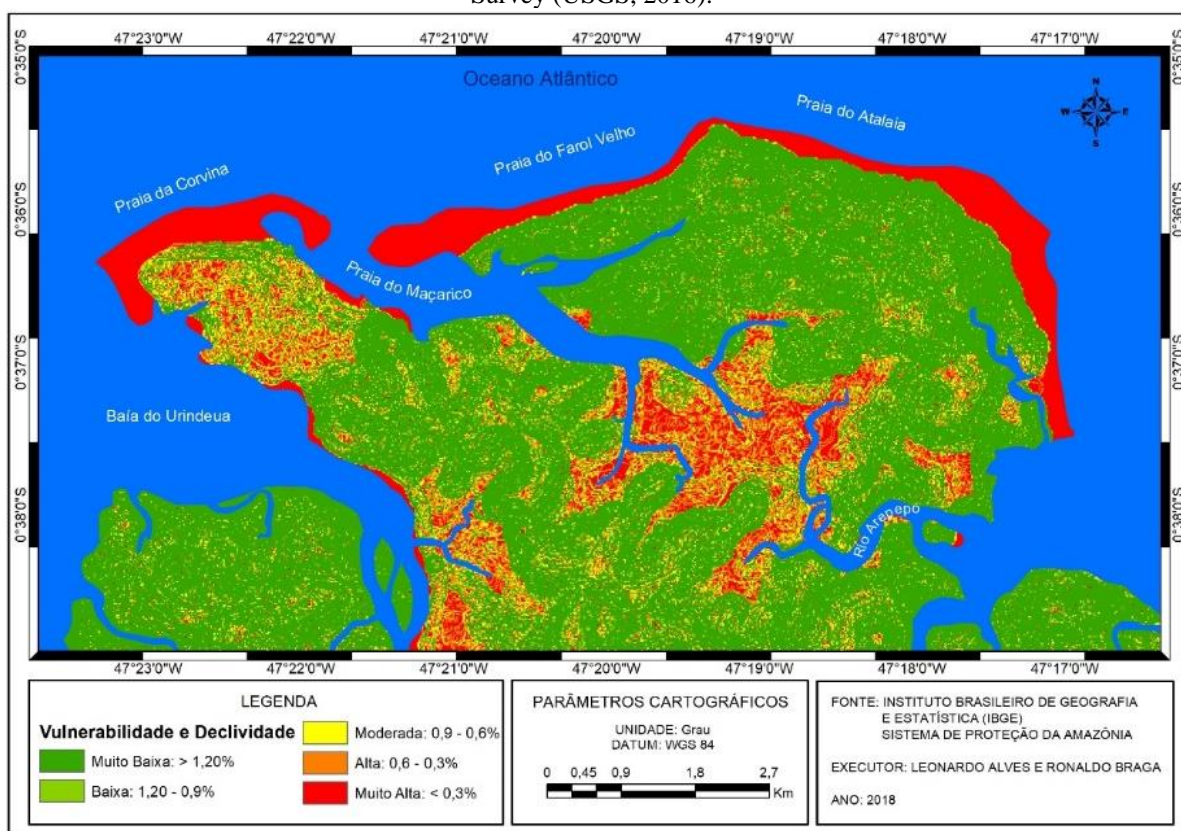
Figura 3.12- Projeção de aumento de um metro do NMM até o ano de 2100 em Salinópolis e suas respectivas áreas afetadas quantificadas em m².



Fonte: Elaborada pelo autor

Índice de Vulnerabilidade Costeira da Variável Declividade da Costa - De acordo com os intervalos adotados para a determinação da vulnerabilidade da variável declividade ($>1,2$; $1,2$ a $0,9$; $0,9$ a $0,6$; $0,6$ a $0,3$; $< 0,3$), obteve-se o mapa de declividade (Figura 13). Os setores de Orla em estudo apresentaram para esta variável os seguintes Índices de Vulnerabilidade Costeira IVC à elevação do nível do mar: Maçarico/Corvina, Muito Alta; Manguezal I e II, Muito Alta; Farol Velho e Atalaia, Muito Alta; Falésia Leste e Oeste, Muito Baixa.

Figura 3.13- Mapa de declividade da costa de Salinópolis-Pará. Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Aerolevantamento COHAB (2000) e imagens SRTM Shuttle Radar Topographic Mission/U.S. Geological Survey (USGS, 2016).



Fonte: Elaborada pelo autor

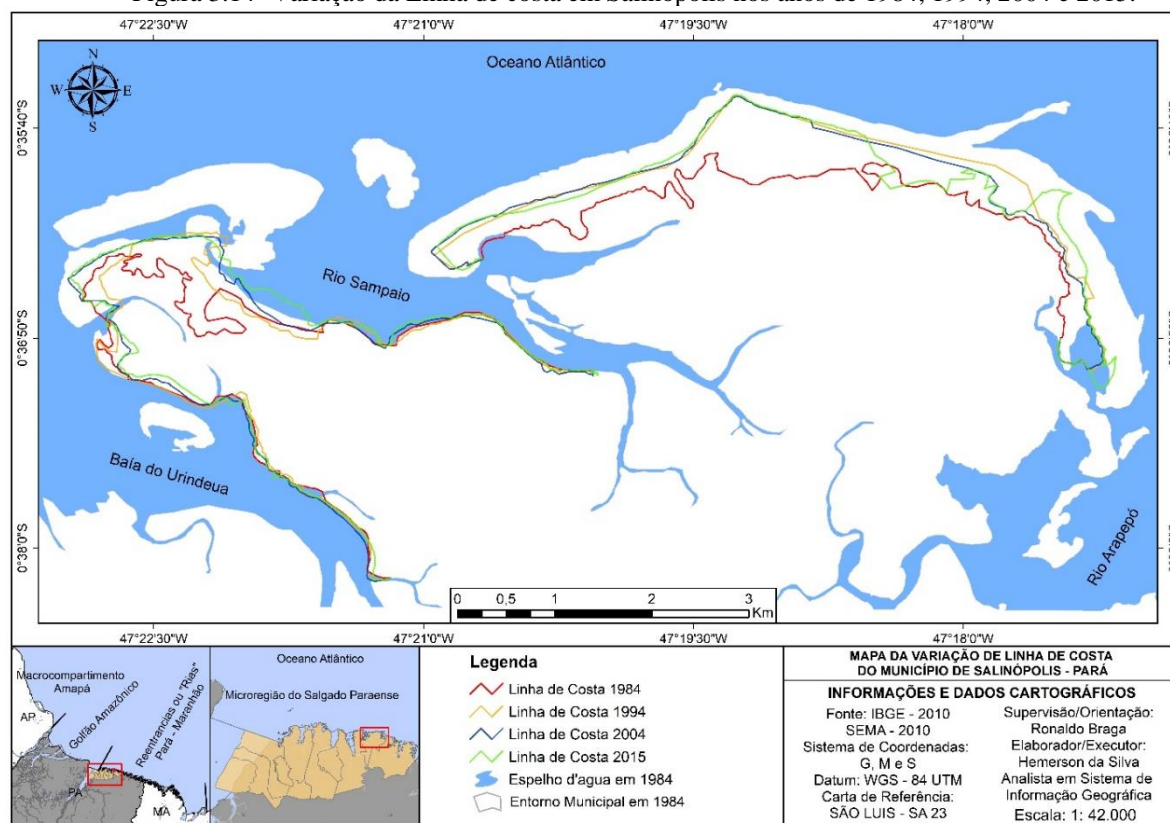
O aumento da vulnerabilidade em decorrência da diminuição da declividade, configura em Salinópolis uma extensa área sujeita a ser alagada em virtude de um possível aumento do NMM na região. As áreas de falésias, que compõem a Orla da cidade devem funcionar como áreas de contenção de impactos a este aumento do mar. No entanto, assim como as áreas de baixa declividade, as falésias também sofrerão com o processo erosivo. Os setores de praias do Farol Velho e Atalaia, serão fortemente impactados, visto que a baixa declividade permite que o mar alcance extensas áreas do pacote arenoso e da orla continental que atualmente são ocupadas para segunda residência e para infraestrutura da atividade turística.

Variável Taxa de Erosão e Acreção - A dinâmica dos fatores e agentes costeiros em Salinópolis, principalmente ondas, ventos e correntes de marés e longitudinais, além de deslocamentos de células de deriva litorânea, provocam ao longo dos setores costeiros processos de erosão e acreção diferenciados (RANIERI; EL-ROBRINI, 2015). Em Salinópolis as taxas de variação da linha de costa calculada para os setores costeiros em estudo entre os anos de 1984, 1994, 2004 e 2015 revelaram expressiva dinâmica costeira (Figura 14)

Todos os setores de praias mostram expressivo ganho sedimentar para o período de 31 anos. Nas praias do Maçarico e Corvina esse ganho permitiu a formação de dunas no limite da pós-praia, como também deposição em áreas próximas ao Setor de Falésia Leste. Nas praias do Farol Velho e Atalaia, a deposição e estabilidade arenosa, principalmente a partir da década de 1980, foram acompanhadas pelo processo de urbanização. No Farol Velho, atualmente, quase toda a orla emersa é ocupada para moradias de segunda residência. Outro setor que apresentou ganho sedimentar foi o de Manguezal II. Os setores de Falésia Oeste e Manguezal I apresentaram perda sedimentar.

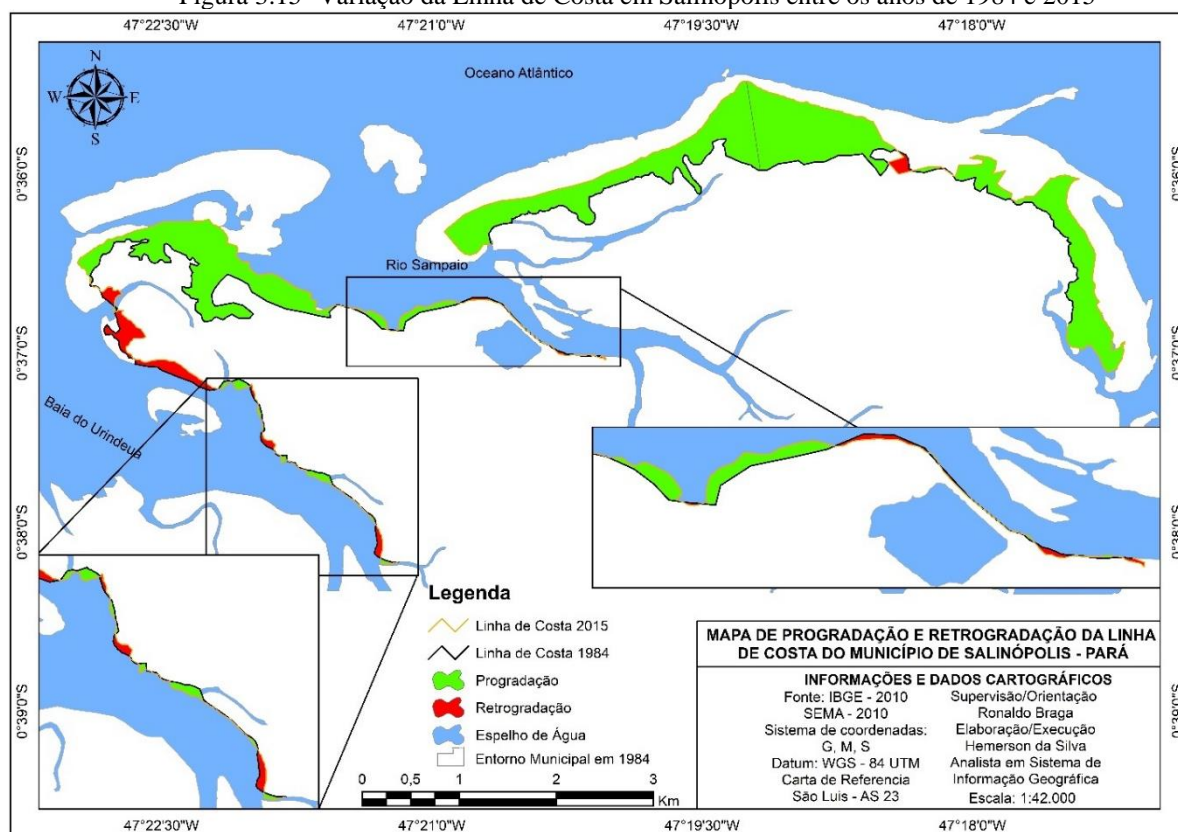
A análise multitemporal das imagens orbitais de 1984 e 2015 demonstraram que 47 locais da Orla apresentaram dinâmica costeira no período analisado. O processo de progradação foi predominante sobre o de retrogradação na maioria da Orla (Figura 15).

Figura 3.14- Variação da Linha de costa em Salinópolis nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2015.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 3.15- Variação da Linha de Costa em Salinópolis entre os anos de 1984 e 2015



Fonte: Elaborada pelo autor

Com a projeção de um metro de aumento do NMM, a nova linha de costa que se configura resultará em um intenso processo de retrogradação costeira em Salinópolis. Todos os setores de Orla serão afetados por esse aumento. A localização dos principais sistemas ambientais, praias, manguezais e dunas e das ocupações humanas em altimetria de até um metro serão impactados diretamente.

O Quadro 4 mostra as taxas de erosão (retrogradação costeira) e acreção (progradação costeira) na área de estudo por setores de Orla para os anos de 1984 a 2015 e para a projeção futura até 2100.

Quadro 3.4- Taxa de erosão em m²/ano em Salinópolis, atual: anos de 1984 a 2015 e futura: projeção de um metro de aumento do NMM para o ano de 2100.

Setores	Taxa atual de erosão (-) e acreção (+) em m ² /ano entre 1984 a 2015	Vulnerabilidade atual	Taxa futura de erosão (-) e acreção (+) em m ² /ano: projeção para o ano de 2100	Vulnerabilidade e futura
Setor Maçarico/Corvina	(+) 27.431,59	Muito Baixa (1)	(-) 1.785.652	Muito Alta (5)
Praia do farol velho	(+) 31.730,89	Muito Baixa (1)	(-) 1.458.663	Muito Alta (5)
Praia do Atalaia	(+) 46.520,72	Muito Baixa (1)	(-) 2.200.740	Muito Alta (5)
Costa de Falésias Leste	(+) 1.664,37	Muito Baixa (1)	(-) 108.292	Muito Alta (5)
Costa de Falésias Oeste	(-) 188,511	Muito Alta (5)	(-) 116.099	Muito Alta (5)
Setor Manguezal I	(-) 4.712,74	Muito Alta (5)	(-) 306.762	Muito Alta (5)
Setor Manguezal II	(+) 299,13	Muito Baixa (1)	(-) 191.855	Muito Alta (5)

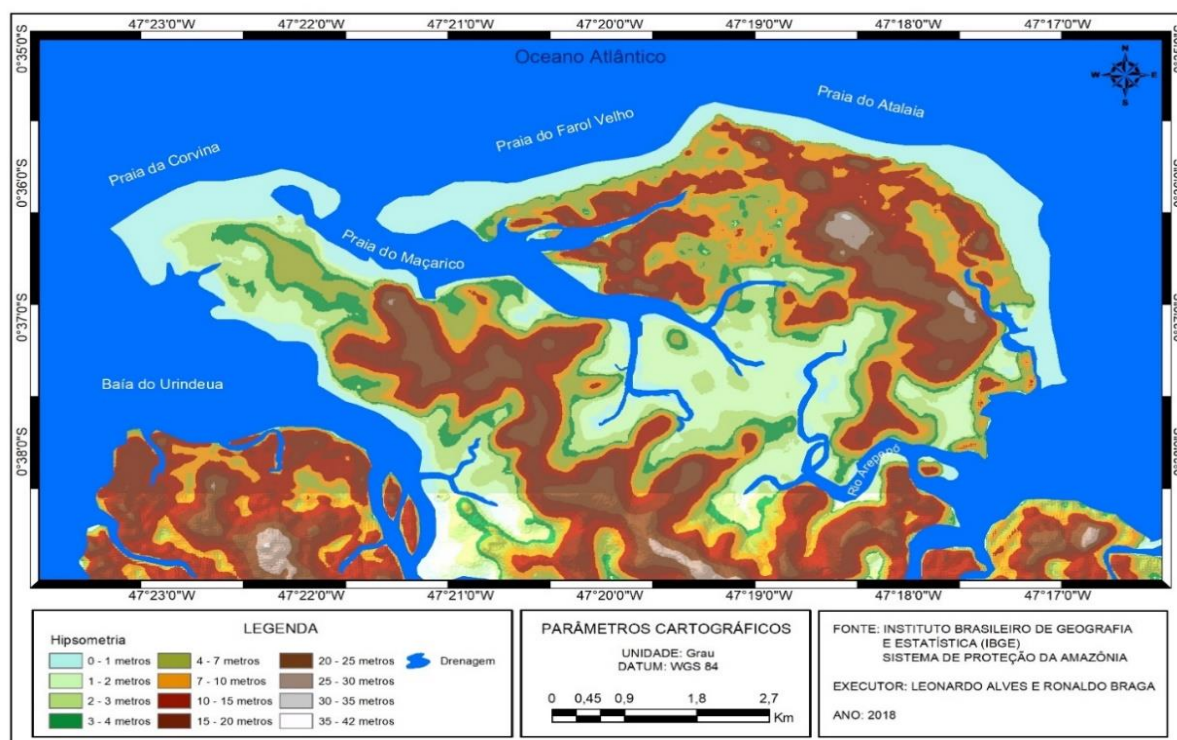
Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Ranieri e El-Robrini (2015) e do cenário RCP8.5 do IPCC (2013).

O processo acelerado de urbanização demográfica evidenciado desde a década de 1980 em Salinópolis (MARINHO, 2009) tem provocado mudanças na tipologia da Orla costeira. As Orlas do Farol Velho e Atalaia que não eram urbanizadas, atualmente são parcialmente urbanizadas ou até mesmo urbanizadas em alguns setores. Considerando à elevação do NMM futura, onde esses espaços se apresentarão em Muito Alta vulnerabilidade, estando sujeitas aos processos erosivos e de inundação, as populações residentes ou estruturas construídas, serão impactadas.

Variável Cota Topográfica - A identificação e análise diferenciada por setores costeiros da topografia é uma das variáveis mais importantes para a determinação da vulnerabilidade à elevação do nível do mar. De acordo com considerações de Tagliani (2006) e Gutierrez (2014) existe um limite máximo altimétrico de alcance do nível do mar sobre o continente, conhecido como a Zona Costeira de Baixa Elevação, que compreende a cota topográfica de 10 metros acima do Nível Médio do Mar.

Em Salinópolis, essa Zona Costeira de Baixa Elevação (Figura 16) é composta principalmente pelas unidades de praias, planícies de marés e algumas formações de dunas. A classificação quanto ao grau de vulnerabilidade dos sete setores costeiros selecionados no Município ficou da seguinte forma (Tabela 5).

Figura 3.16- Mapa hipsométrico de Salinópolis para determinação da vulnerabilidade do parâmetro Cota Topográfica. Os intervalos altimétricos de 1 a 10 metros constitui a Zona Costeira de baixa Elevação.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados de imagens SRTM/USGS e pontos de Aerolevantamento realizado pela Companhia de Habitação do Pará (COHAB, 2000)

Tabela 3.5- Vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar para o parâmetro Cota Topográfica por Setores Costeiros em Salinópolis-Pará.

Setores costeiros em Salinópolis	Vulnerabilidade Cota Topográfica (m)
Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina	≤ 5 Muito Alta
Setor de falésias Leste	$> 5 \leq 10$ Alta
Setor de Falésias Oeste de Manguezais Leste I	$> 5 \leq 10$ Alta
Setor de Manguezais Leste II	≤ 5 Muito Alta
Praia do farol Velho	≤ 5 Muito Alta
Praia do Atalaia	≤ 5 Muito Alta

Fonte: Elaborada pelo autor

A baixa cota topográfica que domina todo o litoral Norte de reentrâncias da Zona Costeira Amazônica forma uma extensa ZCBE em Salinópolis. Os eventos transgressivos do Mioceno e Quaternário que inundaram toda essa região (ROSSETI, 2000, 2006; SOUZA FILHO, 1995), formaram uma extensa planície costeira de baixa topografia e, como consequência, atualmente essa baixa topografia aumenta a vulnerabilidade regional a uma possível subida do mar.

Matriz de Vulnerabilidade à elevação do Nível do Mar: a Tabela 6 mostra a síntese dos valores de vulnerabilidade costeira para cada variável e o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG) por setores de Orla analisado.

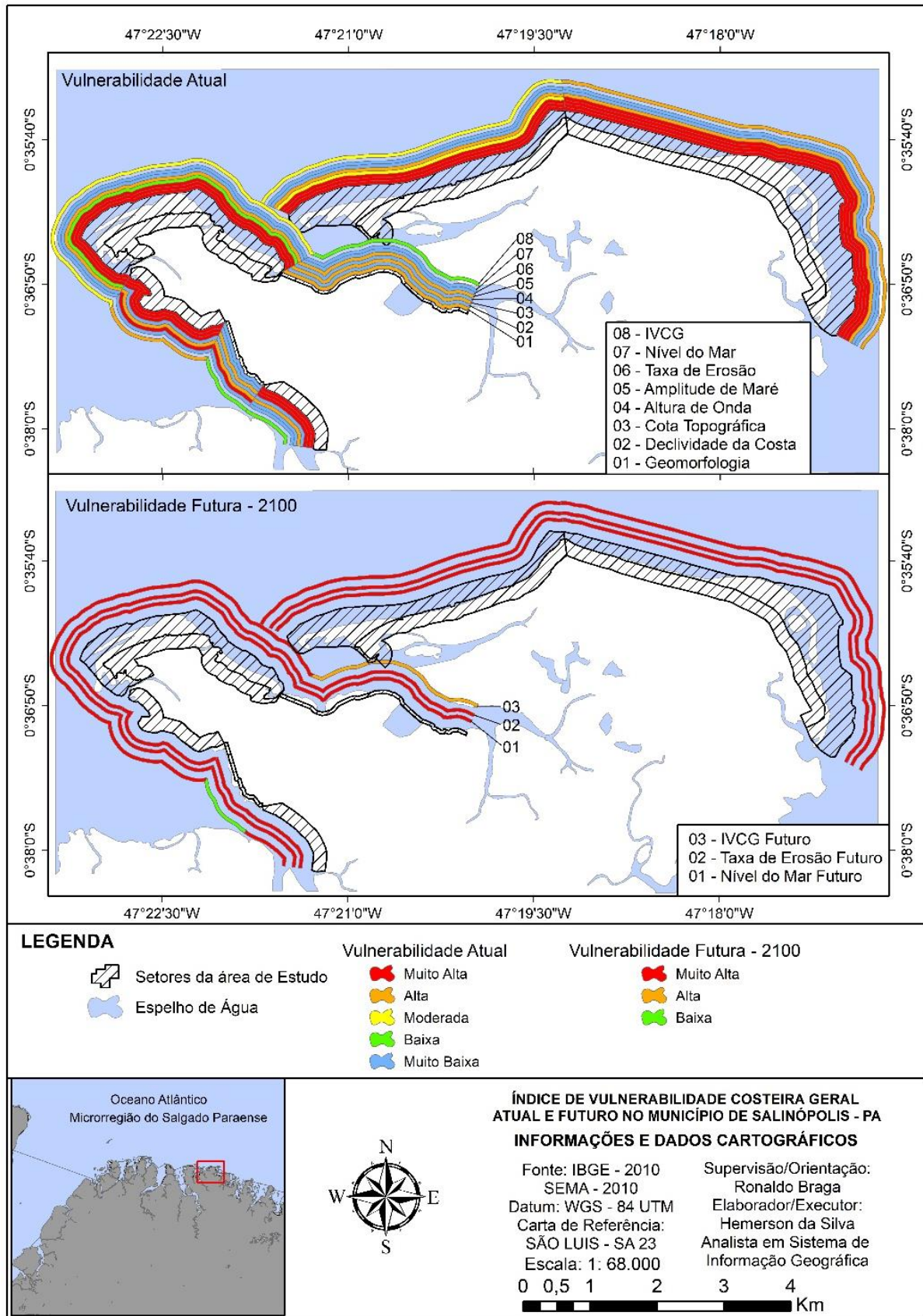
Tabela 3.6- Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral – IVCG à elevação do NMM em Salinópolis. (GM: Geomorfologia, AO: Altura da Onda, CT: Cota Topográfica, DC: Declividade da Costa, AM: Amplitude de Maré, TE:Taxa de Erosão, NMM: Nível Médio do Mar).

Setores costeiros	Parâmetros de Vulnerabilidade										IVCG Atual	IVCG Futuro	
	GM	AO	CT	DC	AM	TE Atual	TE Futura	NMM Atual mm/a	NMM 2100 mm/a				
Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina	5	2	5	5	4	1	5	1	5	11,95	26,72	Moderado	Muito Alta
Setor de falésias Leste	4	1	4	1	4	1	5	1	5	2,64	15,11	Baixo	Alta
Setor de Falésias Oeste	1	1	4	1	4	5	5	1	5	3,38	7,55	Baixo	Baixo
Setor de Manguezais I	5	1	5	5	4	5	5	1	5	18,89	42,25	Alto	Muito Alto
Setor de Manguezais II	5	1	5	5	4	1	5	1	5	8,45	42,25	Baixo	Muito Alto
Praia do farol Velho	5	3	5	5	4	1	5	1	5	14,63	73,19	Moderado	Muito Alto
Praia do Atalaia	5	5	5	5	4	1	5	1	5	18,89	94,49	Alto	Muito Alto
Média										11,26	43,08	Moderado	Muito Alto

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16 mostra o IVCG atual e futuro para cada setor de orla estudado. A vulnerabilidade atual destaca as sete variáveis geológicas/geomorfológicas e oceanográficas analisadas e a vulnerabilidade futura destaca as duas variáveis projetadas (Taxa de erosão e Variação do NMM) e o IVCG resultante.

Figura 3.17- Mapa síntese das variáveis analisadas por setor de orla e o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral atual e futuro resultante.



Fonte: Elaborada pelo autor

Nos setores de Orla costeira analisados têm-se o IVCG atual Moderado para os setores de praias do Maçarico/Corvina e Farol Velho, Baixo para os setores de Falésia Leste, Falésia Oeste e Manguezal II e Alto para os setores de Manguezal I e Atalaia.

O IVCG futuro é resultante da inserção de valores projetados das variáveis: taxa de erosão futura e variação relativa do NMM projetado para 2100. Com essa mudança, a maioria da orla de Salinópolis se apresenta em Alta e Muito Alta vulnerabilidade, com exceção do setor de Falésia Oeste, que apresenta Baixo IVCG.

A vulnerabilidade Muito Alta futura à elevação do NMM se apresenta em uma extensão de aproximadamente 22.748 km de Orla em Salinópolis, envolvendo os Setores das praias do Maçarico/Corvina, Farol Velho e Atalaia e os de Manguezal I e II. Os impactos diretos provenientes dessa classificação se materializarão em forma de inundação e erosão.

Figura 3.18- Hotel construído à 50 metros de distância da linha de espraiamento das ondas em maré alta e a 7 metros do Nível Médio do Mar, localizado na área central da praia do Atalaia.



Fonte: Fotos de Ronaldo Braga em 08 de abril de 2018

A maior parte da área da Orla da praia do Atalaia e Farol Velho é ocupada por hotéis e moradias de alto padrão, localizados na Zona Costeira de Baixa Elevação. O aumento de um metro do NMM, associado com as altas amplitudes de marés de amplitude média de 4,71

metros, aumentarão a frequência e área das inundações e intensificarão o processo erosivo, colocando em risco direto tanto a rede hoteleira como as residências. A área do hotel identificado (Figura 18) já sofre com infiltrações em marés altas, principalmente as de sizígias equinociais.

Os impactos indiretos podem afetar, principalmente, a economia baseada na pesca e no turismo. O novo modelo do setor de turismo, cuja infraestrutura já está sendo implantada e funcionando parcialmente na Ilha do Atalaia terá sua estrutura em pleno funcionamento a partir do ano de 2020. O modelo consiste na construção de Resorts (Figura 19), que certamente aumentará o fluxo turístico na área.

Figura 3.19- a) Resort em fase final de construção; b) Resort em fase avançada de construção; c) Apartamento modelo do Resort Aqualand em fase inicial de construção; d) Propaganda para venda e área do Resort com obras ainda não iniciadas.



Fonte: do autor (2018)

Todos esses empreendimentos estão localizados ao longo da estrada que dá acesso as duas praias mais frequentadas pelos turistas: Farol Velho e Atalaia. Somente nas férias de julho do ano de 2015 a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA, 2015) calculou cerca de 300.000 turistas, a maioria se deslocando para essas duas praias. Os novos empreendimentos de alto padrão de qualidade têm como objetivo aumentar o número de turistas.

No entanto, os processos físicos que se desencadearão com o aumento do NMM em Salinópolis projeta a perda de aproximadamente 5.500 m² do pacote arenoso das quatro principais praias do Município, principal local dos turistas, o que certamente comprometerá a economia baseada no turismo e as atividades a ela relacionadas.

A carência de estudos atuais e de projeções por parte da gestão municipal e regional, para conhecimento da dinâmica física dos fatores e agentes costeiros responsáveis pelo equilíbrio dinâmico e sistêmico da Orla costeira de Salinópolis, ainda se constitui em uma das maiores problemáticas ambientais da área. Esse fator impede que políticas públicas sejam realizadas e projetadas para a melhoria da qualidade social e ambiental do Município.

3.4 CONCLUSÕES

A análise da vulnerabilidade física para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral à elevação do NMM em Salinópolis foi possível devido à visão sistêmica dos fatores e agentes responsáveis pela dinâmica costeira local.

Com essa análise foi possível a determinação de dois índices em diferentes escalas temporais, utilizando variáveis geológicas/geomorfológicas e oceanográficas: o IVCG atual e o futuro.

Na classificação do IVCG atual não foram identificados índices Muito Alto em nenhum setor de Orla, isso ocorreu, devido aos baixos valores de Altura da Onda, da Declividade da Costa e, principalmente, da variação relativa do NMM. Os valores da Constante Estimada, obtidos através das duas séries temporais, demonstrou que o mar em Salinópolis está recuando. Este recuo tem provocado avanço da vegetação de mangue e deposição de sedimentos arenosos em alguns setores.

Por tanto, a análise conclui que a orla atual de Salinópolis não está sendo impactada pelo avanço do mar resultante do aumento do seu Nível Médio. Os impactos de erosão e inundação observados são resultantes, principalmente, da fisiografia local, da alta amplitude de maré e da ocupação antrópica irregular.

O IVCG Muito Alto futuro se especializa longitudinalmente na maioria da Orla costeira Municipal. Essa classificação é devida, principalmente ao avanço do NMM projetado com aumento um metro para o ano de 2100, equivalente a um aumento de 11,49 mm/ano. Caso a projeção se confirme, os impactos serão evidenciados sobre os ecossistemas da área, economia e infraestrutura.

A metodologia utilizada para determinação do IVCG pode ser replicada para outros setores da Zona Costeira Amazônica, considerando as particularidades locais para a determinação dos valores das variáveis.

A determinação do IVCG futuro na Orla de Salinópolis é um instrumento de subsídio para o planejamento costeiro, através da implementação de políticas públicas relacionadas aos processos erosivos, de inundação e de estratégias de adaptação da população (ICLEI, 2017). Ressalta-se, que essa pesquisa se comprometeu com a gestão Municipal atual em repassar os resultados, para servir de informação complementar a ser utilizada em futuras políticas públicas na Orla costeira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Deus pela vida. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFPA/Belém pelo auxílio financeiro e pelo progresso da pesquisa. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA/EMBRAPA/MPEG e a todos que colaboraram com este trabalho de Tese.

REFERÊNCIAS

ABUODHA, Pamela; WOODROFFE, Colin. Assessing vulnerability of coasts to climate change: a review of approaches and their application to the Australian coast. University of Wollongong Research Online, 2006. Disponível em: <http://ro.uow.edu.au/scipapers/161>. Acesso em: 2 mar. 2016.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução de Olga Cruz. *Caderno de Ciências da Terra*, n. 13, p. 141-152. 1971.

BEZERRA, Denilson Silva. *Modelagem da dinâmica do manguezal frente à elevação do nível do mar.*, 2014, 89 f. Tese (Doutorado em Ciências do Sistema Terrestre)-INPE, São José dos Campos, 2014.

BORUFF, Bryan; EMRICH, Christopher; CUTTER, Susan. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, v. 21, n. 5, p. 932-942. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/04-0172.1>. Acesso em: 19 abr. 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Folha SA.23-São Luís e parte da Folha SA.24-Fortaleza. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAM*. geologia, geomorfologia: solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973.

CAZENAVE, Anny; COZANNET, Gonéri Le. Sea level rise and its coastal impacts. *Earth'sFuture*. v. 2. p. 15-34. 2014. Disponível: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2013EF000188>. Acesso: 07 fev. 2019.

COELHO, Carlos Daniel Borges *et al.* Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira. Aveiro, 2005. 405 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005. Disponível em: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2405/1/2005001720.pdf>. Acesso em: 3 mai. 2016.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ (COHAB). *Aerolevanteamento de Salinópolis*. Salinas, 2000.

CONTI, José Bueno. On global climatic changes. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 16, p. 70-75. 2005.

CONTI, Luis Americo. Variação da Linha de Costa na Região da Ilha dos Guarás – PA Através de Análise de Série Temporal de Imagens de Satélites. *Revista Brasileira de Geografia Física*, São Paulo, v. 4, n. 5, p. 922-937. dez. 2011.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). *Ondas* (Online). Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br>>. Acesso em 05 jul. 2017.

CROWLEY, Thomas; BERNER, Robert. CO₂ and Climate Change. *Science*, v. 292, n. 5518, p.870-872. mai. 2001. <http://science.sciencemag.org/content/292/5518/870>. Acesso em: 2 mai. 2016.

CUTTER, Susan. Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, v. 93. p. 59-69. 2011.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Marinha do Brasil*. 2016. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>. Acesso: 3 jul. 2016.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). TÁBUAS DE MARÉS - DHN. 2016. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/>. Acesso em: 1 de jul. 2016.

EL-ROBRIN, Maâmar; *et al.* Erosão e progradação no Pará. In: MUEHE, Dieter (Org). *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 41-46.

FIGUEROA, Silvio Nilo; NOBRE, Carlos. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. v. 5, p. 36-45. 1990.

FERNANDEZ, Juan; BÉRTOLA, Germán; CAMPO, Alicia. Aplicación del índice de vulnerabilidad costera (CVI) a los barrios costeros del partido de mar chiquita, Buenos Aires, Argentina. *GEOACTA*, v. 42, p. 13-27, 2017. Disponível: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/geoacta/article/view/9275>. Acesso: 20 fev. 2019.

FERROL-SCHULTE; *et al.* Coastal livelihood vulnerability to marine resource degradation: A review of the Indonesian national coastal and marine policy framework. *Marine Policy*. v. 52, p. 163-171, 2015. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.09.026>.

FRANÇA, Carmena Ferreira de. *Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó - (PA)*. Belém, 2003. 144 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR (FEMAR). Disponível em: <<https://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html#amapaepara>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

2016.

GERMANI, Yana. F.; *et al.* Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, Lisboa, v.15, n.1. mar. 2015.

GÓES, Ana Maria; *et al.* Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, v. 2, p. 3-15. 1990. (Série Ciências da Terra).

GORNTZ, Vivien; WHITE, Tamy. Vulnerability of the East Coast, U.S.A. to future sea level rise. *Journal of Coastal Research* (Special Issue). n. 9, p. 201-237. 1990.

GORNTZ, Vivien. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section/Elsevier Science) (Online), v. 89, n. 4, p. 379-398. mar. 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O). Acesso em: 1 ago. 2016.

GORNTZ, Vivien *et al.* The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Coastal Research, Journal of Coastal Research*, (Special Issue), Nova York, n. 12, p. 327-338. 1994. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25735608>. Acesso: 3 out. 2016.

GUERRA, Antônio Teixeira. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2003.

GUTIERREZ, Benjamim; *et al.* Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States. *Geological Survey* (Online), Reston (Virginia), p. 1-26. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/ofr20141083>. Acesso em: 2 out. 2016.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change. The Mitigation of Climate Change. Work group III para. New York / London: Cambridge University Press, 851p. 2007.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Climate change: The physical science basis. In: Stocker, T. F. *et al.* (Ed.). Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 1535p. 2013.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Summary for policymaker*. In: FIELD, C.B, et al. Climate Change. Impacts, adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014.

KANTAMANENI, Komali. Coastal infrastructure vulnerability: an integrated assessment model. *Nat. Hazards*, v. 84, p. 139-154, 2016. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2413-y>. Acesso: 08 fev. 2019.

KANTAMANENI, Komali; *et al.* Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index. *Ocean & Coastal Management*, v. 158, p. 164-175, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.039>. Acesso: 07 fev. 2019.

MARENGO, José. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal Climatology*, v. 15, n. 9. 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/joc.3370150906>>. Acesso em: 4 mai. 2017.

MARINHO, Rogério Souza. *Faces da expansão urbana em Salinópolis, zona costeira do Estado do Pará*. Belém, 2009, 135p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Pará.

MEHVAR et al. Climate change-driven losses in ecosystem services of coastal wetlands: A case study in the West coast of Bangladesh. *Ocean and Coastal Management*, v. 169, p. 273-283, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.12.009>. Acesso: 08 fev. 2019.

MELO, Paulo Alves. *Apropriação da natureza e sensibilidade da paisagem costeira: proposições para a gestão ambiental da área urbana de Salinópolis, Pará*. Belém, 100p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Pará.

Miguens, A.P., 1996. *Navegação: a ciência e a arte*. 1ª ed. DHN, Brasil, Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Brasília, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) Plano nacional de gerenciamento costeiro II, 1990. Lei 7.661, de 16 de maio de 1988.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Projeto orla, 2006: Fundamentos para gestão integrada*/Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasília, 2006.

MOORE, Laura J. *Shoreline mapping techniques* (Online), v. 16, n. 1. 2000. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/4300016>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

MORAES, Carlos Antonio Robert. *Contribuição para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. São Paulo: Annablume, 2007. 232p.

MUEHE, Dieter. *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MUEHE, Dieter. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (Org.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1998. p. 273-349.

MUEHE, Dieter; NICOLLODI, J. Geomorfologia. In: ZAMBONI, Admilson; NICOLLODI, João Luiz (Org.). *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008. p. 23-58.

NGUYEN et al. Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*. v. 123, p. 18-43, 2016. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022>. Acesso: 07 fev. 2019.

NICHOLLS, Robert; et al. Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIREs Clim Change*, v. 5, p. 129–150. jan.-fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.253>. Acesso em: 10 ago. 2017.

NICHOLLS, Robert; CAZENAVE, Anny. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science* (Online), v. 328, n. 5985, p. 1517-1520. jun. 2010. Disponível em: [10.1126/science.1185782](https://doi.org/10.1126/science.1185782).

NOVELLI, Yara Schaeffer; et al. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 62, n. 2, p. 37-52, 2016. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-875920160919064sp2>. Acesso: 08 fev. 2019.

NOAA. Administração Oceânica e Atmosférica Nacional. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, 2019.

PERMANENT SERVICE FOR MEAN SEA LEVEL (PSMSL). Acesso: 5 abr. 2016.

QU et al. Coastal Sea level rise around the China Seas. *Global and Planetary Change*. v. 172, p. 454-463, 2019. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.11.005>. Acesso: 08 fev. 2019.

RAMESH, R.; et al. Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present e future. *Anthropocene*, v. 12, p. 85-98. dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.005>. Acesso: 12 jun. 2017.

RANIERI, Leilanhe; EL-ROBRINI, Maâmar. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências* (Online), v. 42, n. 3, p. 207-226. dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5894/rgci565>. Acesso em: 22 jun. 2017.

RANIERI, Leilanhe. EL-ROBRINI, Maâmar. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências* (Online), v. 42, n. 3, p. 207-226. dez. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286458986_Evolucao_da_linha_de_costa_de_Salinopolis_Nordeste_do_Para_Brasil. Acesso em: 22 jul. 2017.

REN, Guo-Yu. Urbanization as a major driver of urban climate change. *Advances in Climate Change Research*, v. 6, n. 1, p. 1-6. mar. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.accre.2015.08.003>. Acesso em: 28 abr. 2018.

RIBEIRO, Wagner Costa. *A Ordem Ambiental Internacional*, 2 ed. Contexto, São Paulo. 2008

ROAF, Sue, CRICHTON, David, NICOL, Fergus. *Adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas*. 1 ed. São Paulo: Booleman, 2009.

ROSSETTI, Dilce de Fátima. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wavedominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology* (Online), v.133, n. 3-4, p. 295-324. jun. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00046-4). Acesso em: 10 ago. 2018.

ROSSETTI, Dilce de Fátima. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão *Geologia USP. Série Científica*, v. 6, n. 2, p. 7-18. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/S1519-74X2006000300003>. Acesso em: 16 dez. 2015.

SANTOS, Marcelo Soares Teles. Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de ciências geodéticas*, Curitiba, v. 21, n. 4. out.-dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400040>. Acesso: 19 mar. 2016.

SEMMA. *Secretaria Municipal de Meio de Ambiente de Salinópolis*. Salinópolis, 2015.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica* (Online), v. 23, n. 4, p. 427-435. 2005.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins; EL-ROBRINI, Maamar. As variações do nível do mar e a estratigrafia de sequências da Planície Costeira Bragantina–Nordeste do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*. n. 10, p. 45-78. 1998. (Ciências da terra).

SOUZA, Celia Regina; *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, Célia Regina de Gouveia; SUGUIU, Kenitiro; OLIVEIRA, Antonio Manuel dos Santos, Oliveira, Paulo Eduardo de (Org). *Quaternário do Brasil*. São Paulo: ABEQUA/Holos, 2005. p. 130-152.

STEFFEN, Will; *et al.* The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. The Royal Society Publishing (Online), v. 369, n. 1938. mar. 2011. Disponível em: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/369/1938/842>. Acesso em: 11 mar. 2018.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini; *et al.* Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel* (Online), n. 4, p. 89-98. dez. 2006.

THIELER, E. Robert; MARTIN, Daniel; ERGUL, Ayhan. *The digital shoreline analysis system, version 2.0: shoreline change measurement software extension for ArcView*, USGS. Disponível em: <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version2/index.htm>2003. Acesso: 14 dez. 17.

USGS. *Geological Survey*. Estados Unidos, 2016, 2 mapas color. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 16 mai. 2016.

WANG, Guanghui; *et al.* A comprehensive risk analysis of coastal zones in China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 140, p. 22-31, 2014. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.12.019>. Acesso: 08 fev. 2019.

WENNEKER, Ivo; SPELT, Bart; PETERS, Herman; RONDE, John. Overview of 20 years of fieldmeasurements in the coastal zone and at the Petten sea dike in the Netherlands. *Coastal Engineering*, v. 109, p. 96-113, 2016. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.12.009>. Acesso: 08 fev. 2019.

ZANETTI, Vitor Baccarin; SOUSA JUNIOR, Wilson Cabral; FREITAS, Débora. A Climate Change Vulnerability Index and Case Study in a Brazilian Coastal City. *Sustainability*, v. 8, n. 8, p. 1-12, 2016. Disponível: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/8/811>. Acesso: 07 fev. 2019.

ZHOU, Wen-Ling; *et al.* From global change to Future Earth in China. *Advances in Climate Change Research (Online)*, v. 6, n. 2, p. 92-100. jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2015.10.001>. Acesso em: 22 mai. 2018.

CAPÍTULO 4 - IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SALINÓPOLIS, ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA¹⁸

RESUMO

A Orla costeira do Município de Salinópolis faz parte da Zona Costeira Amazônica e é composta por diversos Sistemas Ambientais Naturais e Antrópicos, a maioria vulnerável aos impactos de uma possível elevação eustática. Este artigo analisou os impactos socioambientais e as estratégias de adaptação social da possível elevação do Nível do Mar na Orla de Salinópolis. Foi construído um Modelo Digital de Elevação do Terreno utilizando interpolação por Krigagem com pontos de aereolevanteamento e imagens SRTM. Projetou-se um metro de elevação do NM utilizando o cenário RCP8.5 do IPCC (2013). Foram aplicados 201 questionários, agrupados de acordo com a percepção da população e Secretarias Municipais. Com a elevação de um metro, os principais ecossistemas apresentaram perdas ambientais resultante da configuração de uma nova Linha de Costa até o ano de 2100. A população e a Prefeitura possuem percepções e estratégias distintas de adaptação de acordo com as características de cada setor de Orla. Os impactos do aumento do mar em Salinópolis provocarão perdas ambientais nas praias, dunas, mangues e falésias. Visto não existir estratégias no Plano Diretor nem na Lei Orgânica Municipal para adaptação e intervenção, a população vulnerável socialmente será mais impactada.

Palavras-Chave: Impactos; Modelo Digital do Terreno; Nível do Mar; Adaptação

ABSTRACT

The coastal border of the Municipality of Salinópolis is part of the Amazon Coastal Zone and is composed of several Natural and Anthropic Environmental Systems, most vulnerable to the impacts of a possible eustatic elevation. This article analyzed the socioenvironmental impacts and strategies of social adaptation of the possible elevation of the Level of the Sea on the Salinópolis Bay. A Digital Terrain Elevation Model was constructed using Kriging interpolation with aerial survey points and SRTM images. An NM elevation meter was projected using the IPCC RCP8.5 scenario (2013). 201 questionnaires were applied, grouped according to the perception of the population and Municipal Secretariats. With the increase of one meter, the main ecosystems presented environmental losses resulting from the configuration of a new Coast Line until the year 2100. The population and the Municipality

¹⁸ Artigo submetido à revista *Mercator*. Qualis B1 em Ciências Ambientais.

have different perceptions and strategies of adaptation according to the characteristics of each sector of Orla. The impacts of the increase of the sea in Salinópolis will cause environmental losses in the beaches, dunes, mangroves and cliffs. As there are no strategies in the Master Plan or in the Municipal Organic Law for adaptation and intervention, the socially vulnerable population will be more impacted.

Keywords: Impacts; Digital Terrain Model; Sea level; Adaptation

4.1- INTRODUÇÃO

Diante do cenário de elevação do Nível Médio do Mar (NMM) projetado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC (2013), grandes extensões da Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE) em todo mundo serão inundadas, provocando impactos negativos de naturezas sociais e ambientais (GURNITZ, 1991; TAGLIANI, 2006; GUTIERREZ, 2014). As atuais características da zona costeira, como urbanização acelerada, instalação de estruturas industriais, utilização de recursos naturais por populações locais e o uso para o turismo, além de ser habitat de inúmeros ecossistemas, potencializam esses impactos, materializando-os em forma de impactos negativos. A maioria dos governos locais não está preparada com políticas de mitigação e adaptação para essas mudanças (ICLEI, 2017).

A ZCBE é considerada na literatura mundial a faixa de 0 a 10 m de altitude. Para Gutierrez (2014) esta é a faixa costeira de máximo alcance dos impactos diretos na zona costeira ocasionados pelo aumento do NMM. Ou seja, é na faixa altimétrica de até 10 m que a maioria dos impactos relacionados à elevação do nível do mar ocorrem.

Atualmente ante a comunidade científica mundial, principalmente as ligadas ao Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC, é certeza que existe uma mudança climática global. Também já é bem documentado que ao menos dois fatores são responsáveis por tais mudanças: a dinâmica natural do sistema atmosfera e as pressões humanas, principalmente com emissão de Gases do Efeito Estufa-GEE (DOU e XIAO, 2016; IPCC, 2013, 2014). Essas mudanças afetam todo o sistema global, ou seja, sistemas ambientais naturais e antropizados. Autores como Crowley e Berner (2001); Conti (2005); Ribeiro (2008); IPCC (2007); Ayoade, (2010); Zhou *et al.* (2015); Steffen *et al.* (2011) e Ren (2015) afirmam que as mudanças se caracterizam por flutuações climáticas de longo período de tempo que provoquem mudanças do tipo de clima predominantes sobre determinada área. O IPCC (2013) entende que as mudanças estão relacionadas à variação estatisticamente significante em um parâmetro climático médio ou sua variabilidade, devido a processos naturais ou forças externas ou a

mudanças persistentes causadas pela ação do homem na composição da atmosfera ou do uso da terra.

Algumas áreas no Globo sofrem os impactos mais diretos das mudanças no NM e uma dessas são as zonas costeiras. Autores como Souza *et al.* (2005) Souza (2009); Anderson *et al.* (2009) e Germani *et al.* (2015) consideram que os impactos marcantes derivados das mudanças climáticas, podem ser bem evidenciados nas zonas costeiras e advém, principalmente, da elevação do Nível Médio do Mar ou da ação energética diferenciada do mar sobre setores costeiros.

Os impactos da erosão na Zona Costeira Amazônica ZCA, notadamente a leste da Ilha de Marajó e no litoral de reentrâncias ou “Rias” foram descritos por autores como França (2003), El-Robrini *et. al* (2006) Prost e Mendes (2013). Esses trabalhos não apontam como causa dos impactos a variação do NMM. A falta de referencial altimétrico costeiro e de dados regionais e locais sobre as variações do mar tem dificultado as projeções da elevação do NMM no território nacional. Por esse fator, muitas pesquisas sobre esse tema, tem se utilizado de imagens orbitais e levantamentos aerofotogramétricos cedidos por Secretarias Municipais ou Estaduais.

Cenários de aumento do NMM projetado para o Marajó por Valeriano e Rossetti (2008) mostram extensa área sendo inundada. Souza Filho e El-Robrini (1997, 1998) elaboraram modelo que mostra que o litoral de reentrâncias já passou, durante o Quaternário, por transgressão e regressão resultantes de flutuações glácioeustáticas. Atualmente a vulnerabilidade natural da Região à elevação do NMM, provocada por fatores de natureza física, como a baixa topografia e altas marés, associada a vulnerabilidade social, com a maioria dos Municípios apresentando péssimos indicadores de renda e escolaridade (IBGE, 2010), são fatores que aumentam a magnitude dos impactos.

Os impactos da elevação do NMM na costa amazônica, bem como em qualquer setor costeiro exigem dos governos locais políticas de adaptação. As políticas de adaptação a esses impactos, ainda não são presentes em todas as cidades costeiras. Populações onde o potencial econômico é reduzido são as mais vulneráveis a assimilar e sofrerem com os danos (CUTTER, 2010). Países desenvolvidos, como por exemplo, a Holanda e Austrália têm apresentado bons resultados em suas estratégias de adaptação (ABEL *et al.*, 2011; WENNEKER *et al.*, 2016). Nesse artigo, entende-se por adaptação as estratégias de melhoria da qualidade socioambiental da população e dos governos locais frente aos impactos da elevação do NMM (SMIT; WANDEL, 2006; ICLEI, 2017; PNA/MMA, 2016).

No atual contexto, levando em conta a ocupação humana com diversas atividades econômicas e a existência de diversos sistemas ambientais naturais, tais como manguezais em diversos estágios de desenvolvimento, dunas, vegetação de restinga, falésias, praias, etc., a elevação do NMM poderá provocar impactos socioambientais significativos na costa amazônica. Desde o passado geológico, o setor costeiro em estudo, sempre foi vulnerável a elevação e ao potencial energético do nível do mar. Esta é uma das maiores particularidades da ZCA amazônica, sua vulnerabilidade física e social às mudanças climáticas.

Objetivou-se neste artigo analisar os impactos socioambientais advindos da elevação do NMM de acordo com a projeção do cenário RCP8.5 do IPCC (2013). Quantificou-se as perdas ambientais sobre os principais sistemas naturais (mangues, praias, dunas e falésias) e sobre a população mais vulnerável, a partir da delimitação de uma nova linha de costa projetada com um metro de elevação do NMM sobre a ZCBE no Município de Salinópolis, NE da Zona Costeira Amazônica ZCA. Além, buscou-se analisar a partir de questionários e da análise do Plano Diretor do Município as estratégias dos gestores municipais e da população sobre política de adaptação local à elevação do mar.

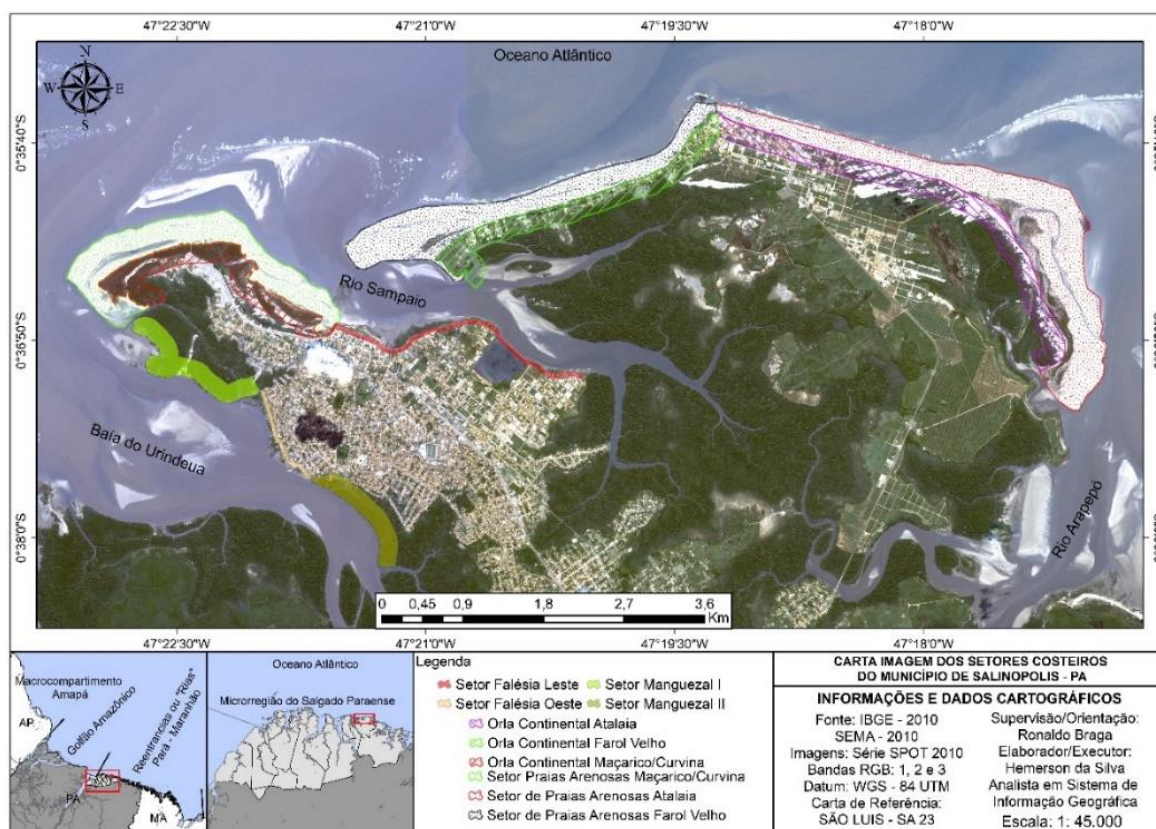
A estrutura do artigo está dividida em quatro partes. Na primeira, apresenta-se os principais materiais e métodos utilizados e faz-se uma abordagem das principais características físicas regionais e da área de estudo. A segunda parte contém os resultados e discussão, onde são apresentados o Modelo Digital de Elevação, a quantificação dos impactos sobre os principais sistemas ambientais e sobre a população mais vulnerável e uma proposta de adaptação local à elevação do nível do mar baseado em levantamentos de questionários com população e com as principais Secretarias Municipais. A terceira parte são as considerações finais do artigo. E por fim, as referências bibliográficas.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS:

4.2.1 Localização e características físicas

O Município de Salinópolis, considerado um Município Costeiro segundo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II, 1997), está localizado no Litoral de “Rias” ou reentrâncias Pará-Maranhão do Litoral Norte da ZCA (MUEHE, 2010) (Figura 1).

Figura 4.1- Mapa de localização e divisão dos setores da zona costeira de Salinópolis-Pará



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na subdivisão fisiográfica da Zona Costeira Amazônica proposta por Muehe (2003), Salinópolis faz parte do Litoral de Reentrâncias Pará-Maranhão e na nova regionalização geográfica do IBGE (2017) compõe a Região Intermediária de Castanhal e a Região Imediata de Capanema. Sua Orla é caracterizada por um conjunto de reentrâncias com vales afogados bastante ativos. No trecho costeiro entre o Golfão Marajoara e a proximidade do Município de São João de Pirabas, predominam vales estuarinos esculpidos em sedimentos terciários do Grupo Barreiras, em contato direto com as águas marinhas (MUEHE; NICOLODI, 2008). As principais unidades geomorfológicas são as falésias do planalto costeiro, praias, dunas e planície de maré, no entanto, outras unidades são presentes (Quadro 01).

Quadro 4.1- Unidades geomorfológicas e suas características no Município de Salinópolis-Pará.

Unidades geomorfológicas	Características geomorfológicas
Planalto costeiro	Composto pelo Grupo Barreiras e sedimentos Pós-Barreiras, correspondente ao embasamento da Planície Costeira. A maior parte ocupada pela urbanização e onde se localiza o sítio urbano.
Planície aluvial-várzea	Depósitos holocênicos influenciados por processos fluviais. Área lamosa encontrada na margem dos rios, coberta por vegetação.
Planície de maré	Depósitos holocênicos influenciados diretamente pelas correntes e marés. Área lamosa, densamente vegetada por mangue, que sofre a influência de marés e processos estuarinos.
Planície litorânea	Depósitos holocênicos que sofrem influência de ondas, ventos e marés.
Colinas e tabuleiros	Relevo ondulado e por vezes planos com altitudes de até 64 m.
Planície de supramaré	Superfície areno-argilosa resultante da dissipação de dunas e erosão de falésias, com sedimentos retrabalhados e acumulados apenas durante as marés de sizígia.
Pântano salino	Depósitos areno-argilosos hipersalinos, localizados na zona de supramaré.
Barras arenosas	Barras arenosas longitudinais desenvolvidas na foz dos canais de maré e de baías. Atualmente ela tem ocupado o fundo dos canais, normalmente expostas durante a maré baixa.
Dunas vegetadas	Campos de dunas se localizam principalmente paralelas às praias do Farol Velho e Atalaia. Grande extensão atualmente se encontra com a vegetação removida e descaracterizada pelos loteamentos condominiais e turismo.
Dunas atuais	Dunas fixas e móveis paralelas à linha de costa, normalmente não vegetadas.
Praias	Estão localizadas na zona de maior energia do litoral desde o nível de baixamar até a linha máxima de alcance das marés (base dos campos de dunas e falésias ativas).
Lagos interdunares	Corpos hídricos associados aos campos de dunas atuais e paleodunas, estando limitados pelas mesmas.

Fonte: Elaborado com dados de Melo (2008) e Boulhosa e Souza Filho (2008) e acrescentado por pesquisas de campo em 2016 e 20017.

O Município possui precipitação média de 2.800 mm anuais (CPRM, 2018). O fator principal da elevada precipitação anual, segundo Marengo e Nobre (2009) e Albuquerque *et al.* (2010) está associado a ação da Zona de Convergência Intertropical ZCIT que se desloca para a região trazendo grande quantidade de umidade, principalmente entre os meses de dezembro a maio, período mais chuvoso que marca o chamado “inverno amazônico”. O regime de ventos dominante no NE do Pará é representado pelos alísios de NE que atuam continuamente durante todo o ano, com máximo de dezembro a março, quando se somam aos alísios de SE, com velocidade média anual de 4,10 m/s em Salinópolis (CPTEC, 2017).

Os principais agentes costeiros que atuam em Salinópolis são as marés e as ondas, que geram correntes de marés e longitudinais, respectivamente. As marés são semidiurnas com

amplitude de 4,57 metros. As ondas se formam em oceano aberto e alcançam 4m de altura, no entanto, em águas rasas inferiores a 40m batimétricos, alcançam 1,5m (CPTEC/INPE, 2017). Na arrebentação a altura é de 1,2 metro, chegando a 0,6 metro na entrada dos canais de marés (RANIERI; EL-ROBRINI, 2016).

Quanto a Plataforma Continental Brasileira, Muehe e Nicolodi (2008) a descrevem apresentando largura variável, com cerca de 80 milhas náuticas no Amapá e 160 milhas náuticas na foz do rio Amazonas, reduzindo-se para 20 a 30 milhas na região Nordeste, onde é constituída, basicamente, por fundos irregulares. A partir do Rio de Janeiro, na direção sul, a plataforma volta a se alargar, formando extensos fundos cobertos de areia e lama. Ao longo do litoral brasileiro, em geral, a plataforma continental apresenta baixa declividade, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, implicando em uma resposta à elevação do nível do mar muito ampliada, quando comparado com plataformas de maior declividade (MUEHE, 2006).

Como observou Geyer (1996), a plataforma continental amazônica está sujeita a forçantes energéticas de fontes diferentes, e uma dessas são as oceânicas, determinada, principalmente, pela variação do mar resultante das oscilações das marés semi-diurnas. Nas proximidades do Município de Salinópolis, a Plataforma apresenta grande extensão, com poucas elevações e formas. Goes e Ferreira Jr. (2017) caracterizam essa porção norte da plataforma brasileira como uma das mais extensas, possuindo cerca de 330 km e inclinação suave até a quebra. Da linha de base do Município de Salinópolis, até aproximadamente 200 metros batimétricos, o traçado de um perfil vertical (N/S) possui 300.612 m. O perfil horizontal (W/L) possui 390.214 m (LEPLAC, 2017).

4.2.2 Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET)

Para a projeção de aumento de um metro vertical do NMM foi necessário a confecção de um MDET de Salinópolis. O Modelo Digital de Terreno é a representação matemática/estatística da superfície contínua projetada por um grande número de pontos (PETRIE; KENNNIE, 1990). A origem dos dados para a construção de um MDT pode se através do levantamento aerofotogramétrico, imagens de Radar, extração de dados tridimensionais de fotografias aéreas e imagens orbitais (TAGLIANI *et al.*, 2006). O Modelo foi construído usando os seguintes bancos de dados: Levantamento Aerofotogramétrico (COHAB, 2000) da parte urbana e imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) com quatro imagens unidas em mosaico com resolução espacial de 30 metros para o restante da área de estudo, obtidas do banco de dados da Embrapa (2016), tratadas seguindo metodologia

proposta pelo Projeto TOPODATA do INPE descritos por Valeriano e Rossetti (2008). O procedimento de geoprocessamento que melhor interpolou os pontos foi a Krigagem, tipo de grade regular retangular, utilizando o Software ArcGis 10.3.

De acordo com autores como Tagliani *et al.* (2006), Gutierrez *et al.* (2014) e Ramesh *et al.* (2015), a cota topográfica máxima de alcance da elevação do nível do mar é 10 metros, é a porção litorânea conhecida na literatura mundial de Zona Costeira de Baixa Elevação, limite topográfico entre 0 a 10 metros do nível do mar, que corresponde por 2% da área terrestre e 13% da população urbana total do mundo.

4.2.3 Projeção do Nível Médio do Mar

O IPCC (2013) projeta o aumento de aproximadamente um metro do NMM para o cenário RCP8.5 até o ano de 2100. Esta projeção leva em consideração, principalmente, a expansão térmica dos oceanos e o derretimento das geleiras a nível global. Foi projetado um metro do aumento do NMM sobre o MDET em Salinópolis, sendo possível identificar as possíveis áreas impactadas. O aumento médio do mar de 2013 a 2100 será de 11,49 mm/ano.

4.2.4 Perda ambiental

O MDET foi sobreposto com uma imagem de sensor orbital Land Sat 8 de 15 metros de resolução espacial e sobre esta base projetou-se um metro de elevação do NMM utilizando o cenário RCP8.5 do Quinto Relatório do IPCC (2013) para o ano de 2100. Com a manipulação do software ArcGis 10.3 foi digitalizada a nova linha de costa de Salinópolis e posteriormente foram quantificadas perdas ambientais resultantes.

4.2.5 Vulnerabilidade e impacto social

A vulnerabilidade social está relacionada a incapacidade de reação da população ante a eventos que podem lhes trazer danos ou impactos. Para Cutter (2011), a análise da vulnerabilidade social carece de medições das condições sociais, geralmente com recurso a dados socioeconômicos e a outros dados demográficos. A base de dados socioeconômica utilizada foi a do IBGE (2010). Optou-se pela delimitação em 11 setores censitários e as variáveis selecionadas foram renda (população sem rendimento ou com menos de meio salário mínimo), idade (população idosa com mais de 60 anos), condição da moradia (pessoas sem banheiro e sanitário) e destino do rejeito sanitário (via rio, lago ou mar). Foi determinado, dessa forma, o total de pessoas mais vulneráveis impactadas pela elevação do NMM para os 11 setores censitários. O Atlas de Vulnerabilidade Social por municípios, publicado pelo Instituto de

Pesquisa Econômica Aplicada IPEA (2015) baseado nos dados do IBGE (2010), calculou o Índice de Vulnerabilidade Social Municipal utilizando três dimensões: Infraestrutura Urbana, Capital Humano e Trabalho e Renda, com intervalos variando entre 0 e 0,200 para muito baixa vulnerabilidade social, 0,201 e 0,300 para baixa vulnerabilidade social, 0,301 e 0,400 para média vulnerabilidade social, 0,401 e 0,500 para alta vulnerabilidade social e qualquer valor entre 0,501 e 1 indica que o município possui muito alta vulnerabilidade social.

4.2.6 Projeção da população

Com dados da população absoluta de Salinópolis desde a década de 1990 até 2016 (IBGE, 2010), projetou-se a população para o ano de 2100. Usou-se o pacote PROC TIMESERIES do programa *StatisticalAnalysisSoftware* SAS 9.4.

4.2.7 Adaptação local aos impactos da elevação do nmm

Autores como Adger *et al.* (2003), Klein *et al.* (2005), IPCC (2007), Barbi (2015) entendem por adaptação, no contexto das mudanças climáticas, qualquer adequação ou ajuste que ocorra em sistemas naturais ou humanos em resposta aos impactos reais ou previstos das mudanças climáticas, com o objetivo de lidar com as consequências, moderar os prejuízos ou explorar as oportunidades benéficas.

O conceito de adaptação às mudanças climáticas está diretamente ligado ao de vulnerabilidade, e quando relacionado às mudanças climáticas, pode ser entendido de acordo com a Equação 01.

Equação 4.1- Variáveis para análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas.

$$V = f(E, S, CA) \quad (\text{Equação 01})$$

Fonte: IPCC (2007); Obermaier e Rosa (2013).

Onde V , é a vulnerabilidade; E , é a exposição do sistema; S , é a sensibilidade do sistema natural ou social e CA , é a capacidade adaptativa, ou seja, a habilidade de se adaptar aos impactos.

Há várias formas de se analisar a Capacidade Adaptativa frente às mudanças climáticas. As metodologias se ajustam e são desenvolvidas de acordo com as características naturais e sociais de cada localidade. Na literatura internacional há diversos trabalhos que tratam do tema da adaptação cujas metodologias podem ser ajustadas ou aplicadas em diferentes realidades costeiras (MUSA *et al.*, 2016; ODEKU, 2004; EKSTROM *et al.*, 2016).

Neste artigo a CA se restringirá a adaptação local, ou seja, a forma que o governo e a população local podem ou estão se adaptando aos impactos da elevação do NMM a nível local, com base em metodologias e experiências já aplicadas em trabalhos anteriores Klein et al., (2005), Smit e Wandel (2006); Cutter (2011); Laukkonen *et al.* (2009); PNA/MMA (2016). Também foi utilizado o conceito de adaptação local e Adaptação baseada em Ecossistema/AbE da Local Governments for Sustainability-ICLEI (2014; 2017). (Figura 2).

Figura 4.2- Fluxograma dos direcionamentos metodológicos para implementação de estratégias de adaptação local à elevação do NMM.



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a identificação de estratégias de adaptação em Salinópolis, considerou-se a população dos 11 setores censitários que abrangem os sete setores costeiros de Orla classificados. Calculou-se o valor do n (amostral) a ser utilizada na pesquisa conforme o procedimento estatístico citado por Fontelles (2012). Equação 02 e Quadro 02.

Equação 4.2- Equação cálculo amostral para aplicação de questionário por setores censitários em Salinópolis-Pará.

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{e^2 \times (N-1) + Z^2 \times P \times Q} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Z= Nível de confiança

P= Acero Esperado

Q= Erro Esperado

N= População Total

e= Nível de precisão

Fonte: Fontelles (2012)

Quadro 4.2- Descrição dos procedimentos para cálculo amostral para a aplicação dos questionários por setores censitários em Salinópolis

Setores Costeiros	Nº de pessoas	%	Tamanho da amostra	Quantidade feita	Erro Amostral
Maçarico/Corvina/Manguezal I	1499	16,47%	25	20	20%
Falésia Leste	2476	27,21%	80	76	11%
Falésia Oeste	2250	24,72%	58	54	13%
Manguezal II	2300	25,27%	44	39	15%
Farol e Atalaia	576	6,33%	41	12	15%
Total	9101	100,00	248	201	14,8%

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.8 Trabalho de campo

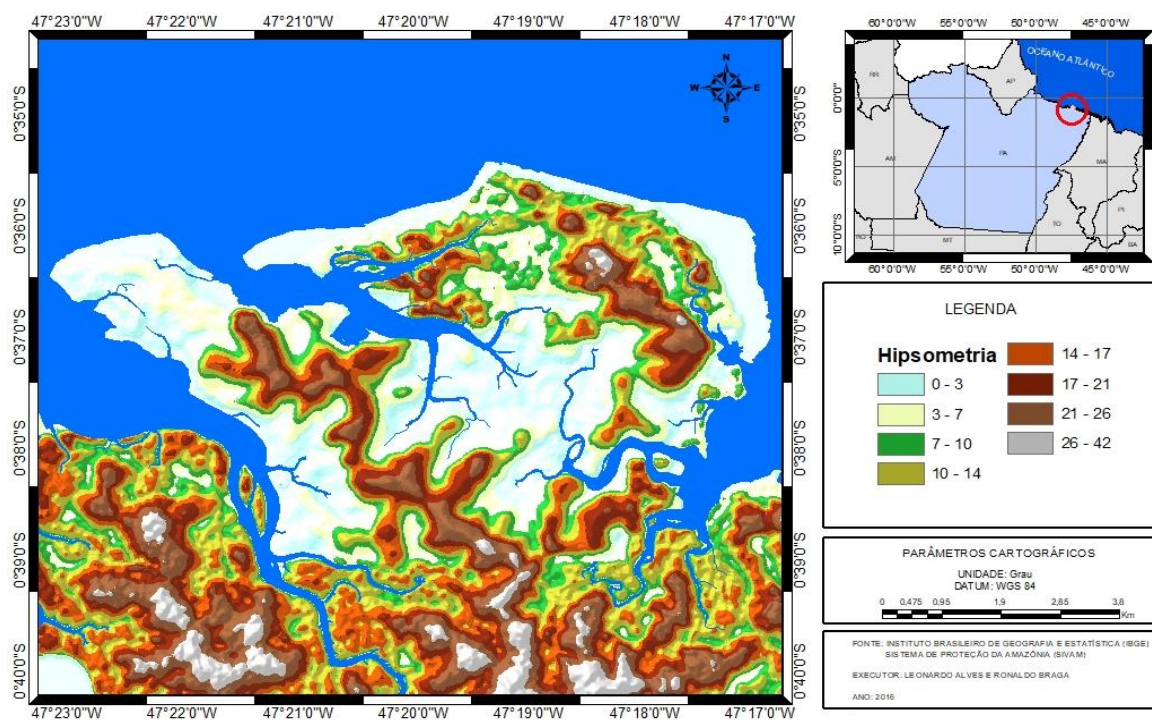
Foram realizadas cinco visitas a campo. Nos dias 29 a 30 de 09/2016, fez-se o reconhecimento das principais unidade geomorfológicas e validação das cotas topográficas, anteriormente processadas do levantamento aerofotogramétrico para delimitação dos setores costeiros; na visita de 06 a 07 de 10/2017, fez-se o registro fotográfico; nos dias 02 a 03 de 03/2018, visitou-se as áreas mais afetadas pelas marés, fez-se registro fotográfico e o reconhecimento das áreas para aplicação dos questionários; nos dias de 02 a 03 de 06/2018, fez-se a aplicação dos questionários para a população por setores costeiros e censitários; no campo de 04 a 06 de 07/2018 aplicou-se os questionários para as principais Órgãos/Secretarias Municipais (Corpo de Bombeiros Militar, Secretaria de Turismo/SETURSAL, Secretaria de Obras/SEMOB, Secretaria de Agricultura/SEMAGRISAL, Secretaria de Meio Ambiente/SEMMA, Agrônomo Municipal).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO:

4.3.1 Modelo Digital de Elevação do Terreno e Zona Costeira de Baixa Elevação

O MDET (Figura 3) permitiu a identificação da altimetria de toda a área de estudo. Observou-se que, com exceção de parte dos dois setores de falésias, todos os setores inserem-se abaixo dez metros de altitude. A baixa topografia é devido a maioria da Orla ser formada geomorfológicamente de praias, dunas e planícies de marés. As cotas acima de 7 metros formam a malha urbana, o centro comercial e as estruturas administrativas. No Farol Velho e Atalaia essas cotas são formadas por dunas, que em alguns locais ultrapassam os 26 metros.

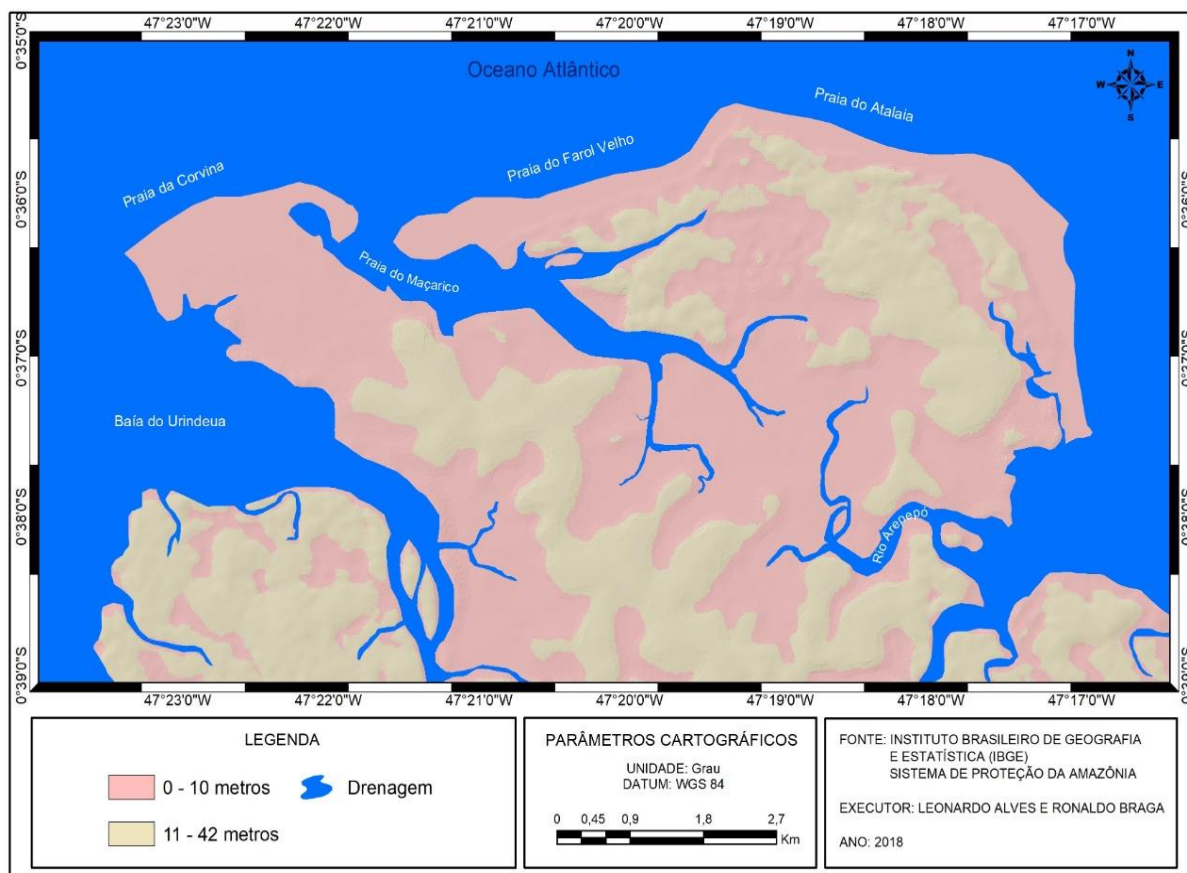
Figura 4.3- Modelo Digital de Elevação do Terreno de Salinópolis.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados de imagens SRTM/USGS e pontos de Aerolevantamento realizado pela Companhia de Habitação do Estado do Pará (COHAB, 2001).

A área contida entre a cota de zero a dez metros, ou seja, a Zona Costeira de Baixa Elevação. É a zona conhecida mundialmente por ser o limite máximo para o avanço do NMM. A Figura 4 mostra a ZCBE em Salinópolis.

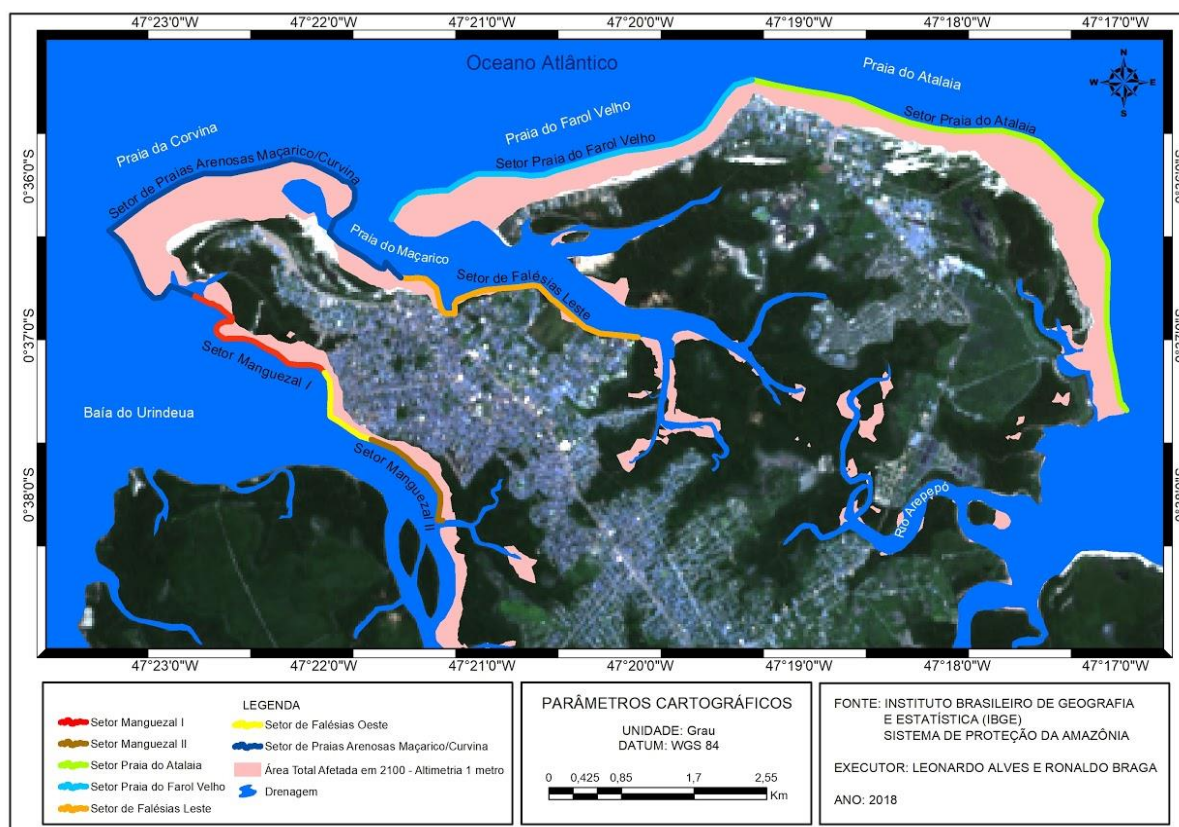
Figura 4.4- Zona Costeira de Baixa Elevação (área de altimetria entre 0 a 10 m) da Orla costeira do Município de Salinópolis-Pará.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em Salinópolis toda a Orla insere-se na ZCBE, com exceção de alguns pontos de falésias. Com o MDET da área projetou-se um metro de aumento do NMM, de acordo com o Quinto Relatório do IPCC (2013), usando o cenário RCP8.5 para o ano de 2100. A projeção configurou uma nova linha de costa no Município (Figura 5).

Figura 4.5- Mapa da projeção do Nível Médio do Mar em Salinópolis.

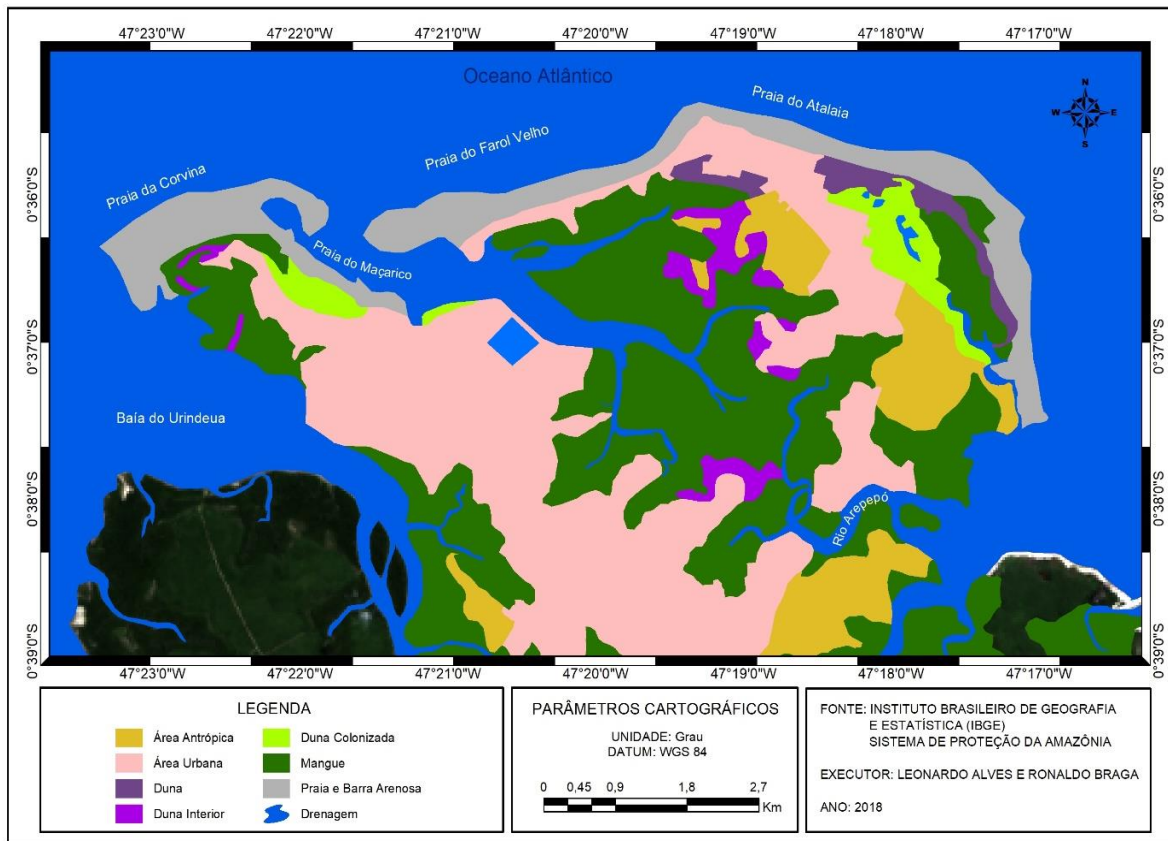


Fonte: Elaborada pelo autor com imagem SPOT e Modelo Digital de Elevação do Terreno MDET, utilizando rotinas de Geoprocessamento e a projeção do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC para o cenário RCP8.5, com um metro de elevação do Nível Médio do mar.

4.3.2 Impactos da elevação do nível do mar sobre os sistemas ambientais naturais.

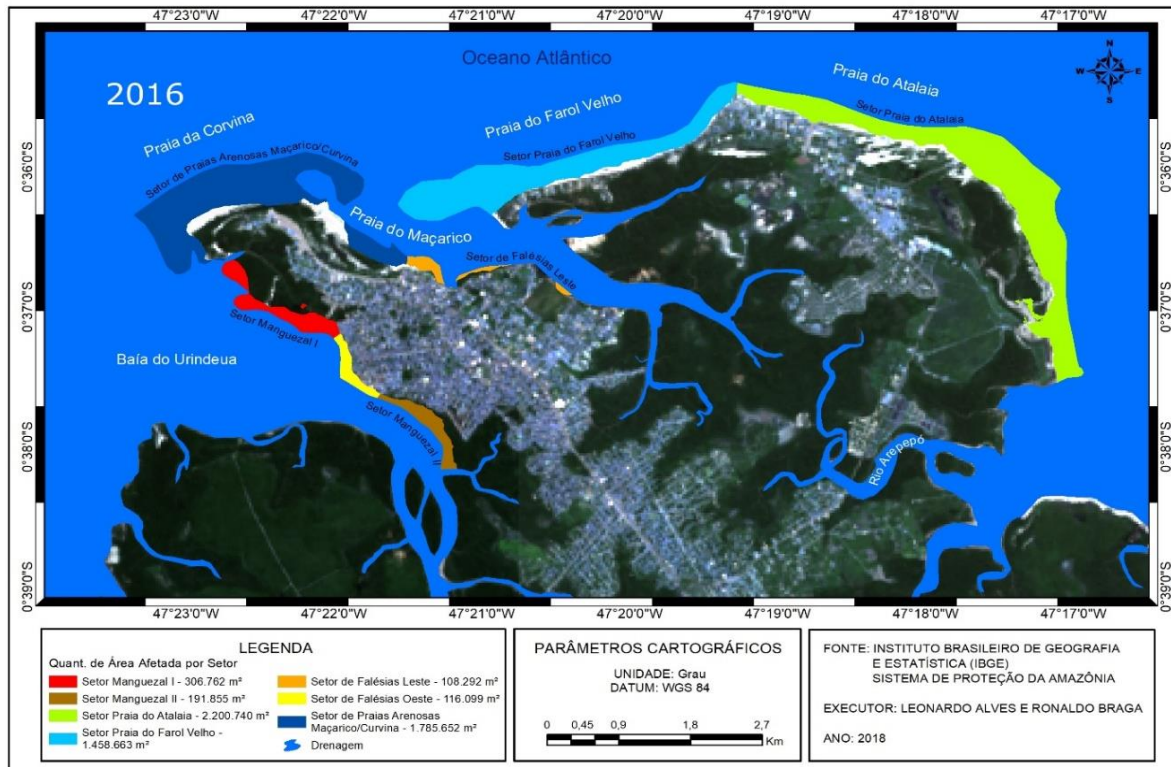
A dinâmica do mar sobre os sistemas ambientais pode se apresentar em forma de progradação ou retrogradação da linha de costa (BEZERRA, 2014). Considerando a perspectiva de perdas ambientais Nicholls e Cazenave (2010) e Nicholls *et al.* (2013) demonstram em seus trabalhos os impactos causados pela elevação do NMM sobre a zona costeira. A classificação da paisagem em Salinópolis no ano de 2016 (Figura 6) é base para a quantificação das perdas ambientais em cenário futuro. Com a projeção de um metro do NMM, a nova linha de costa seria projetada sobre as principais unidades de paisagem no interior da ZCBE em Salinópolis (Figura 7).

Figura 4.6- Classificação das principais unidades de paisagem em Salinópolis no ano de 2016.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.7- Perdas ambientais resultantes da elevação de um metro do NMM na costa de Salinópolis até ano de 2100.

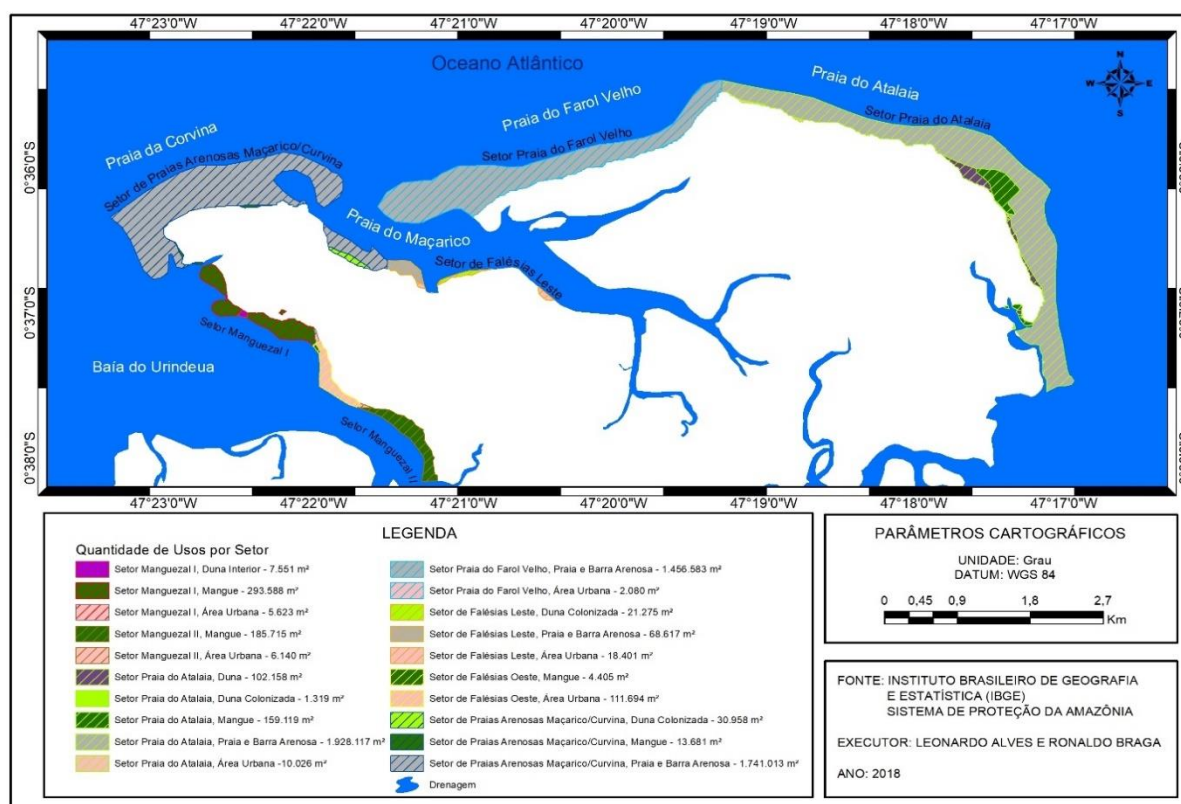


Fonte: Elaborada pelo autor.

No comparativo com as unidades classificadas no ano de 2016, até o ano de 2100 todos os principais sistemas ambientais naturais e antrópicos serão afetados pela elevação do NMM em Salinópolis. O sistema de praia e barras arenosas terá maior perda em área, com $5.445.055\text{m}^2$, considerando a área das quatro principais praias no ano de 2016: Maçarico, Corvina, Farol velho e Atalaia.

As perdas por setores costeiros foram as seguintes: No Setor Maçarico/Curvina de $1.785.652\text{ m}^2$; no Setor Praia do Atalaia, de $2.200.740\text{ m}^2$; no Setor Praia do Farol Velho, de $1.458.663\text{ m}^2$; no Setor de Manguezal I, de 306.762 m^2 ; no Setor de Manguezal II, de 191.885 m^2 ; no de Falésia Oeste, de 116.099 m^2 e no de Falésia Leste, de 108.292 m^2 . A Figura 8 mostra a quantificação de todas as unidades classificadas em 2016 que serão afetadas até o ano de 2100 com um metro de elevação do NMM.

Figura 4.8- Área em m^2 de cada unidade de paisagem afetada pela elevação do Nível do mar em Salinópolis até o ano de 2100.



Fonte: elaborada pelo autor.

Os setores das praias arenosas: Farol Velho e Atalaia tem apresentado longas extensões em processo erosivo. Atualmente, na Orla dessas praias, a erosão causada pela ação do Mar tem provocado perdas ambientais e danos nas estruturas antrópicas (Figura 9). A erosão afeta principalmente as estruturas comerciais e residenciais localizados na pós-praia e na Orla continental.

Figura 4.9- A) Setor central da Praia do farol Velho: muro de proteção sobre a pós-praia no plano a direita e afloramento de material rochoso devido a erosão da praia no plano de fundo; B) Setor central/oeste da praia do Farol velho: solapamento pelas ondas de estruturas de proteção residencial construídas sobre a pós-praia e estirâncio ao longo de toda costa; C) Setor central/oeste da praia do Atalaia: Restaurantes construídos sobre a pós-praia e estirâncio; D) Estrutura residencial de proteção contra erosão sendo ultrapassada pelas ondas no setor central/leste da praia do Atalaia

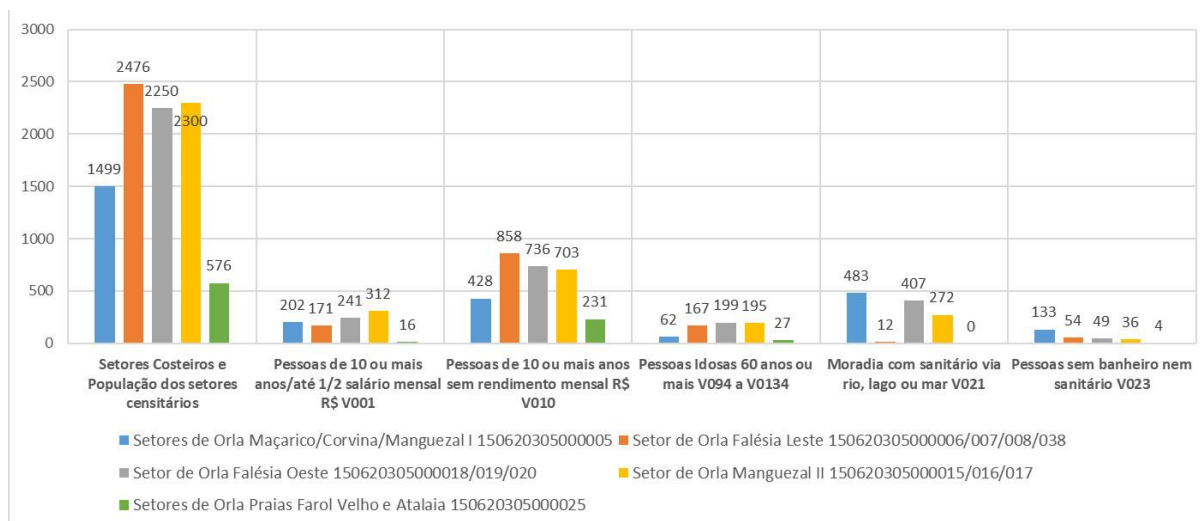


Fonte: do autor.

4.3.3 Vulnerabilidade social em Salinópolis

Frente à possível elevação do nível do mar, autores como Neves e Muehe (2008); Barbi (2015); (ICLEI, 2014; IPCC, 2007, 2013) assinalam que os impactos socioambientais serão potencializados ao longo da zona costeira, afetando ambientes e também a população mais vulnerável. Segundo Cutter (2011) a população mais vulnerável é aquela que se encontra em locais vulneráveis fisicamente e que apresentam péssimas condições socioeconômicas. Seguindo o princípio da setorização espacial da ciência da vulnerabilidade proposto por Cutter (2011), os indicadores sociais foram agrupados da seguinte forma (Figura 10).

Figura 4.10- Síntese dos indicadores de renda, idade e condição de habitação da população de Salinópolis por setores censitários.



Fonte: Elaborada pelo autor com dados dos setores censitários de Salinópolis do IBGE (2010).

Considerando os dados da Figura 10, têm-se para os setores de costa de praias arenosas Maçarico, Corvina e Manguezal I, do total de 1.499 habitantes, que ocupam esses dois sistemas ambientais, 202 pessoas com renda de até meio salário mínimo mensal e 428 não possuem algum rendimento o equivalente a 42,02%, sendo que 62 pessoas possuem mais de 60 anos, 483 moradias despejam diretamente nos canais de marés seus rejeitos sanitários e 133 pessoas não possuem banheiro nem sanitários.

Os setores de Orla das Praias do Farol Velho e Atalaia é composto por apenas um setor censitário, possui população muito baixa, de 576 habitantes, sendo 16 com renda até meio salário e 231 sem rendimentos ou 44,79%. Possui ainda 27 pessoas com 60 anos ou mais. Apresenta somente 4 pessoas que não possuem banheiro nem sanitário. Mesmo sendo pouco ocupado, apresenta grande concentração de habitações de segunda residência, de alto padrão, e recebe grande número de turistas, principalmente em janeiro, fevereiro e julho.

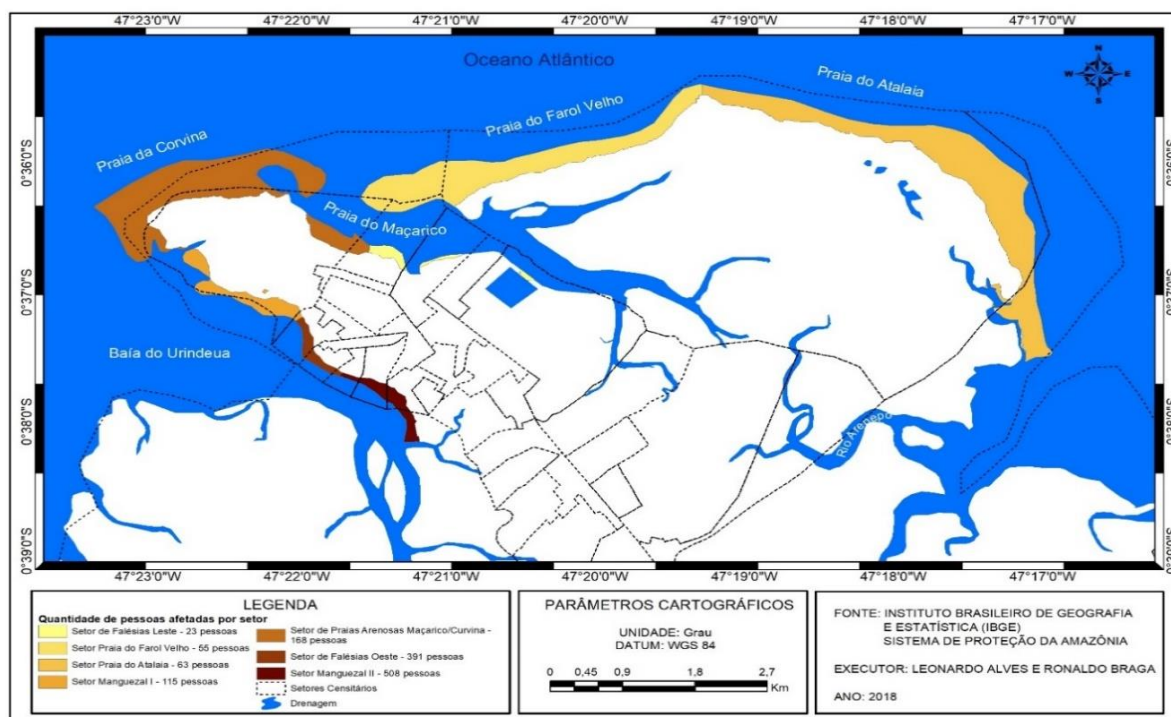
O setor de Orla de Manguezal II abrange dois setores censitários, com população de 2.300 habitantes, possui 312 pessoas com renda de até meio salário mínimo e 703 pessoas não possuem renda, o que equivale a 44,13% da população; 195 pessoas possuem 60 ou mais anos de idade. Ainda apresenta 272 moradias com sanitários despejando nos canais e 36 pessoas sem banheiro nem sanitário.

No setor de Falésia Oeste, composto por três setores censitários, 977 pessoas ou 43,42% da população é composta de pessoas com renda até meio salário mínimo ou sem renda. Apresenta 199 pessoas com 60 anos ou mais, 407 moradias despejando rejeitos sanitários nos canais e 49 pessoas sem banheiro nem sanitário.

No setor de Falésia Leste, que abrange três setores censitários possui 2.476, sendo que 171 pessoas possuem renda até meio salário mínimo e 858 pessoas não possuem rendimento mensal, o que corresponde a 41,55%. Possui também 167 pessoas com mais de 60 anos, 12 residências despejam seus rejeitos sanitários nos canais de marés e 54 pessoas não possuem banheiro nem sanitário. As 9.101 pessoas cuja condição de renda, idade e condição de habitação os segregam em alta vulnerabilidade aos impactos advindos de uma possível elevação do nível do mar, representam 22,32% da população total do Município. Somado a isso, ocupam, em sua maioria, locais topograficamente vulneráveis à ação energética do mar e com deficiência de saneamento básico. São populações desprovidas pelo poder público dos serviços essenciais de saneamento e habitação adequados. Além disso, normalmente não alcançam nível educacional suficientes para reagir às condições de pobreza e vulnerabilidade.

O IPEA (2015) classifica o Brasil com Índice de Vulnerabilidade Social Baixo em 0,248, o Estado do Pará como Baixo, com 2,97 e Salinópolis com Índice de Vulnerabilidade Social Médio (IVS = 0.389). A vulnerabilidade social em Salinópolis se materializa principalmente na condição de pobreza da população. É a população mais vulnerável que irá assimilar os impactos negativos da possível elevação do NMM. A Figura 11 mostra o quantitativo populacional impactado em Salinópolis pela elevação do NMM até o ano de 2100 em cada setor de Orla.

Figura 4.11- População afetada em Salinópolis pela elevação de um metro do NMM até o ano de 2100



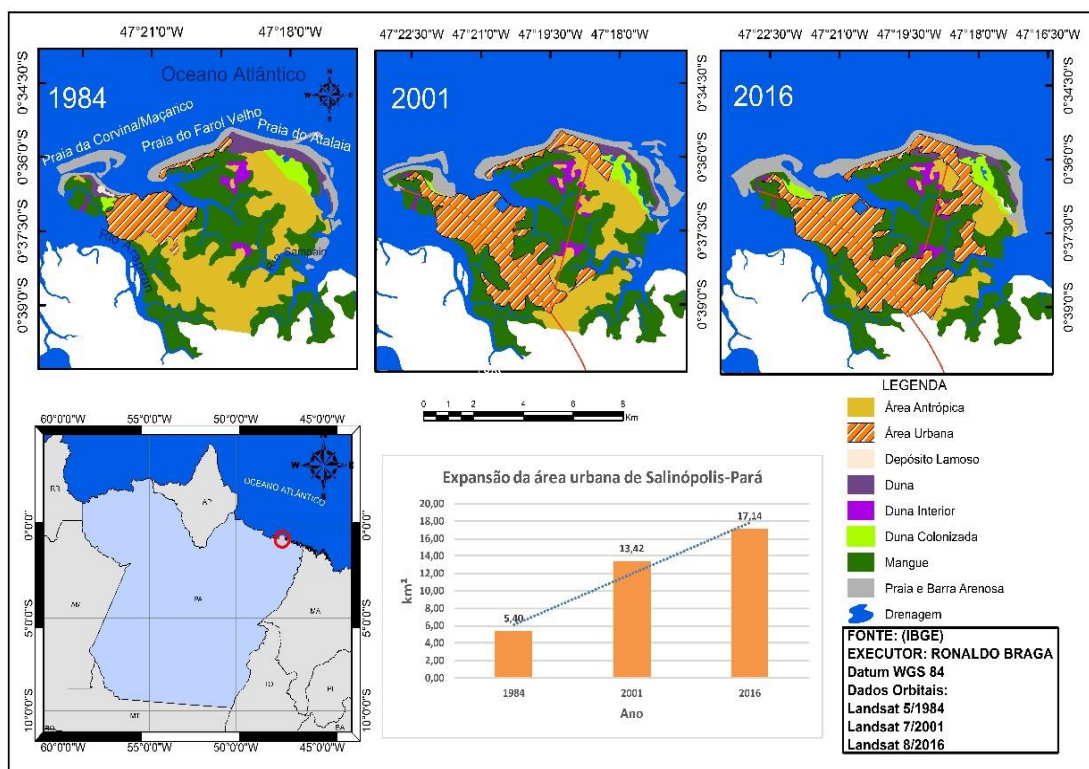
Fonte: Elaborada pelo autor.

Da população absoluta residente nos 11 setores censitários (9.101), 1.319 pessoas ou 14,49% serão diretamente atingidas pelo aumento do mar. Dependendo do tipo de impacto

(erosão, alagamentos e enchentes mais frequentes), essas podem ser afetadas em seu modo de vida, sendo necessário usar de estratégias de adaptação às mudanças ou chegar ao ponto de ocorrer migração ou abandono do local de origem, como sugere Pilkey (1991). Os impactos sociais em Salinópolis afetarão com mais intensidade e magnitude as populações mais vulneráveis. Cutter (2011) considera que os impactos da erosão, dos alagamentos e de possíveis eventos extremos que ocorrerem sobre as populações mais vulneráveis física e socialmente, são absorvidos e causam diversas consequências negativas. Em Salinópolis os 22,32% da população mais vulnerável dos locais atingidos, não possuem poder de reação econômica, política e educacional, dessa forma, absorverão os impactos, caso políticas institucionais de adaptação não sejam realizadas a curto prazo.

Outro fator a se destacar em Salinópolis é o aumento demográfico em áreas de baixa topografia. A área urbana da cidade, com altimetria acima de três metros não será afetada diretamente. No entanto, o aumento demográfico (Figura 12) da população de baixa renda, fez a malha urbana expandir para locais com cotas inferiores a um metro, principalmente após a década de 1990, expondo os moradores às condições precárias de moradias sobre a planície de maré

Figura 4.12- Expansão urbana de Salinópolis entre os anos de 1984, 2001 e 2016.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A acelerada expansão demográfica em países subdesenvolvidos, como o Brasil, é acompanhada, a um ritmo igual, da expansão da pobreza urbana (SANTOS, 2013), criando nos

arredores das cidades grupos segregados de pobreza (SANTOS, 2008). As análises desse autor sobre urbanização brasileira refletem o que se observa em Salinópolis. As áreas nos arredores da cidade são ocupadas por populações pobres, desprovidas pelos setores públicos dos serviços básicos de saneamento ou de uma urbanização técnica de qualidade (Figura 13).

Figura 4.13- E e F) Ocupação de áreas de manguezais por população de baixa renda no Setor de Manguezal II.

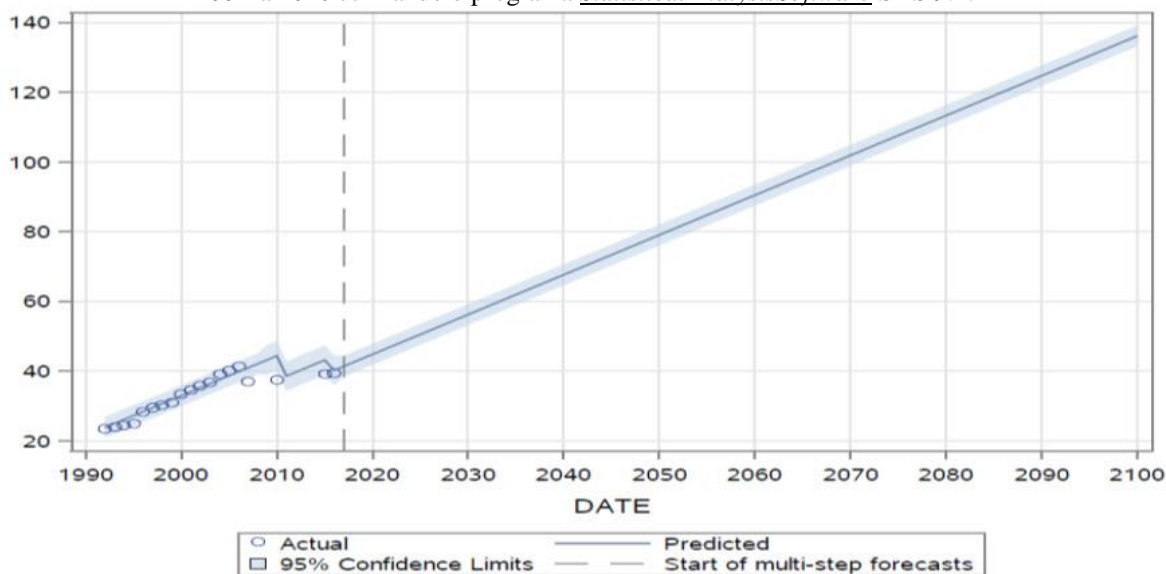


Fonte: do autor.

Segundo o IBGE (2010) a população de Salinópolis era de 22.670 pessoas no ano de 1991, no censo do ano de 2000 a população cresceu para 33.449 pessoas e no de 2010 o crescimento chegou a 37.421 habitantes, com projeção para 40.424 pessoas para o ano de 2018. Do ano de 1991 a 2018, o crescimento populacional foi de 78,31%. A Figura 14 mostra a projeção da população de Salinópolis para o ano de 2100. A população poderá chegar a 136.107 pessoas, crescimento de aproximadamente 350%.

Ao serem questionadas sobre se a Gestão Municipal atual tem realizado melhorias na infraestrutura de seu local de moradia, das 200 pessoas que responderam, 68% não reconhece nenhuma estratégia de adaptação ou intervenção frente aos possíveis impactos da elevação do NMM. Considerando o aumento demográfico até 2100 e a falta de políticas públicas, os impactos sobre a população mais vulnerável poderá assumir maior magnitude.

Figura 4.14- Projeção da população (mil) de Salinópolis para o ano de 2100, a partir da série temporal de 1991 a 2016 utilizando o programa *StatisticalAnalysisSoftware* SAS 9.4.



Fonte: Elaborada pelo autor

A urbanização demográfica municipal não tem sido acompanhada de urbanização técnica eficiente, principalmente nos locais onde a pobreza é mais segregada. Caso a projeção de crescimento demográfico se confirme e não haja política urbana mais adequada, a malha urbana se expandirá juntamente com a pobreza, aumentando o número de pessoas impactadas. Dessa forma, o conhecimento prévio dos impactos da elevação do NMM sobre a população deve ser alvo prioritário pelo poder público, visto que se constitui instrumento de gestão para previsão de impactos e políticas públicas e estratégias de adaptação.

4.3.4 Estratégias de adaptação local à elevação do nível do mar: estratégia de adaptação local às mudanças climáticas

Os impactos advindos das mudanças climáticas, principalmente com a elevação do nível do mar, além de afetar os sistemas naturais nas zonas costeiras, impactam diretamente as populações locais, como resposta, estas tendem a se adaptar às mudanças ou, em diversos casos, devido à alta vulnerabilidade social, absorvem os efeitos em forma de impactos negativos.

A Capacidade Adaptativa depende do esforço conjunto de governos e da população residente a nível local. Smit e Wandel (2006) afirmam que a adaptação local se inseri na intercessão de todos os processos que envolvem a vulnerabilidade às mudanças climáticas. É a adaptação que impede que os impactos sejam mais intensos e negativos. Laukkonen et al. (2009) admitem que os fatores subjacentes que determinam a vulnerabilidade aos impactos das mudanças climáticas estão intimamente ligados ao nível de desenvolvimento das comunidades. Acrescenta que os esforços da adaptação precisam ser combinados adequadamente e ligados ao

desenvolvimento sustentável das comunidades e com o empenho dos governos locais, principalmente, com os mais desprovidos economicamente. É baseado neste argumento que Cutter (2010), propõe a metodologia de vulnerabilidade social. Para a autora, os grupos sociais mais vulneráveis são aqueles que se segregam espacialmente a partir de níveis baixos de renda, escolaridade, faixa etária e raça. Neste sentido, a vulnerabilidade aumenta de acordo com as características socioeconômica, educacional e, muitas vezes étnica.

A Local Governments for Sustainability-ICLEI, instituição que se preocupa com o desenvolvimento sustentável das comunidades a partir de associações com governos locais, propõe que exista a justa cooperação entre as partes: governos e comunidade local, para a adequada adaptação local às mudanças climáticas (ICLEI, 2017). O Plano Nacional de Adaptação (PNA/MMA, 2016) apresenta mecanismos específicos para adaptação aos impactos das mudanças climáticas em zonas costeiras, especificamente com relação à mudança do nível do mar.

4.3.5 Estratégia para Salinópolis: Na Lei Orgânica Municipal e no Plano Diretor

A Lei Orgânica do Município de Salinópolis (LOMS: Título II, Cap II; Seção I; artigos 172, 173, 183, 185), direciona, a partir do Plano Diretor, que este seja o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana. Fica também a cargo do Plano, designar as unidades de conservação ambiental e outras protegidas por lei, discriminando as de preservação permanente, buscando sempre a melhoria da qualidade ambiental e da população (LOMS, 2011).

O Plano Diretor Municipal, apesar da preocupação institucional com a questão ambiental, principalmente relacionada à expansão urbana, não aponta, em sua totalidade, referências à política de adaptação local às mudanças climáticas, muito menos as relacionadas à elevação do nível mar. As estratégias de adaptação à possível elevação do nível do mar são necessárias, visto ser este um dos principais municípios costeiros do Estado, de grande importância turística e econômica (RIBON, 2017).

Da mesma forma, analisando o Plano Diretor Participativo Municipal (PDPMS, 2006) instituído pela Lei nº 2791/2006, não há referências sobre alguma política estratégica de adaptação ou mitigação aos efeitos das mudanças climáticas. No entanto, o Plano determina que para o desenvolvimento sustentável municipal, um dos objetivos é a necessidade da existência de condições ambientais e de qualidade de vida favoráveis, o que só poderá ser alcançado, de acordo com o conceito de desenvolvimento sustentável, com políticas de

projeções para o futuro. No entanto, as estratégias para alcançar esses objetivos não são identificados em nenhum artigo ou parágrafo do plano Diretor, segundo nossa análise.

4.3.6 Da estratégia de adaptação institucional

No Município existe uma estrutura político-institucional, composta por Secretarias, capazes de propor estratégias de adaptação local à elevação do NMM (Quadro 03). No entanto, observa-se que, na prática, não existe essa preocupação. Em observações em campo, verificou-se loteamentos em áreas protegidas como manguezais e dunas, desmatamento de matas ciliares, ocupação da praia e da pós-praia, além da aparente inexistência de projetos como arborização urbana e urbanização técnica de áreas desprovidas de saneamento básico.

Quadro 4.3- Estruturas político-institucionais relacionadas à adaptação local: Principais Secretarias de Salinópolis.

Setores	Estruturas do governo local em Salinópolis
Ambiente construído	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Secretaria Municipal de Obras</u> • <u>Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte</u>
Desenvolvimento urbano	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Secretaria Municipal de Meio Ambiente</u> • <u>Secretaria Municipal de Limpeza Urbana</u> • <u>Secretaria Municipal de Obras</u> • <u>Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte</u>
Gerenciamento de desastres	<ul style="list-style-type: none"> • Corpo de Bombeiros
Meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Secretaria Municipal de Meio Ambiente
Saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Secretaria Municipal de Saúde • <u>Secretaria Municipal de Assistência Social</u>
Habitação	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Secretaria Municipal de Administração</u> • Secretaria Municipal de Meio Ambiente • <u>Secretaria Municipal de Obras</u> • <u>Secretaria Municipal de Finanças</u>
Sequestro de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Secretaria Municipal de Meio Ambiente
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Secretaria Municipal de Obras</u> • Secretaria Municipal de Meio Ambiente • <u>Secretaria Municipal de Trânsito e Transporte</u>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das Secretarias questionadas sobre os principais problemas relacionados ao aumento do NMM, a erosão, alagamentos, marés altas demais e queda de falésias foram os mais citados. Quando questionadas sobre o setor costeiro mais problemático devido à ação do mar, o de Falésia Leste, Manguezal I e II, oeste da Praia do Maçarico e a praia do Atalaia foram os mais citados.

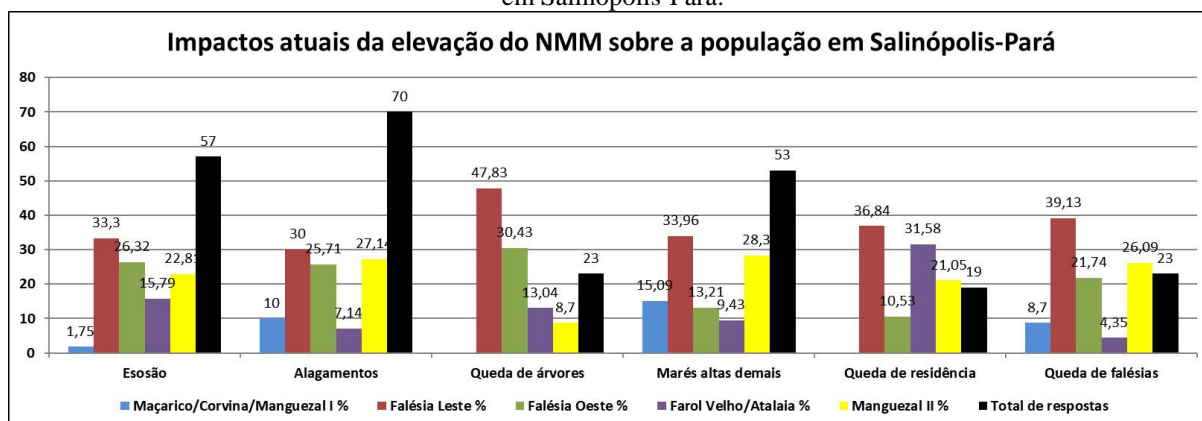
As estratégias de adaptação a uma possível subida do NMM pensadas pelas Secretarias para Salinópolis foram as seguintes: Os Bombeiros Militar (Defesa Civil) citou que as principais áreas atualmente impactadas pelo mar são o oeste do Maçarico e a área da Bacia, localizada entre os setores da praia do Maçarico e o de Falésia Leste. Como principais estratégias a Defesa Civil entende que é necessário planejar a realocação da população que será afetada para áreas não impactadas. Esta foi a mesma estratégia citada pela SEMMA para os mesmos setores. A SEMOB, citou os setores Manguezal I e II e o de Falésia Leste como os mais problemáticos, principalmente com os alagamentos e como principais estratégias seria necessário instalar um sistema de esgoto adequado, arborizar a cidade, implantar cursos superiores e promover palestras educativas. A SETURSAL reconhece que a erosão é o maior problema que ocorre na costa e tem afetado com mais intensidade o setor de Falésia Leste e parte da praia do Maçarico e a estratégia de adaptação seria implantar estruturas seguras de concreto, melhorar o sistema de esgoto, arborizar a cidade, implantar cursos superiores com a temática climática e promover palestras. A SEMAGRISAL cita as marés altas demais, principalmente nos meses de março e setembro, como principal problema e que tem afetado com maiores danos os setores de Manguezal I e II. Para esta secretaria a principal estratégia que deveria ser utilizada seria impedir a circulação e ocupação de pessoas em áreas futuramente impactadas.

Sobre se o Plano Diretor Municipal prevê políticas de adaptação à impactos da elevação do NMM, com exceção da SETURSAL, todas responderam que não. No entanto, foram unânimes ao responderem que o Governo Federal, Estadual, Municipal é quem devem planejar estratégias de adaptação.

4.3.7 Das estratégias de adaptação da população

Nos resultados dos questionamentos para a população sobre quais os problemas percebidos devido ao aumento do nível do mar, verifica-se que a erosão, os alagamentos e as marés altas demais (principalmente em março e setembro) são mencionados como os principais (Figura 15).

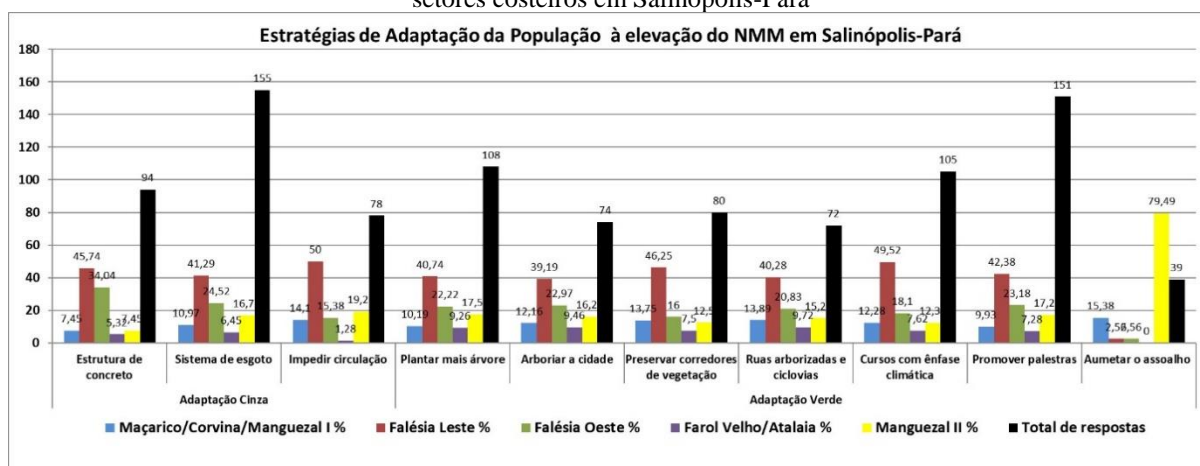
Figura 4.15- Principais impactos da variação do nível do mar destacados pela população no ano de 2018 em Salinópolis-Pará.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da análise de questionário de pesquisa de campo em 06/2018.

Em cada setor costeiro devido as particularidades sociais e físicas, a população destaca, ao menos, duas ou três estratégias de adaptação à elevação do NMM no local. Das várias estratégias de adaptação destacadas pela população, as mais citadas foram duas formas de adaptação cinza¹⁹: a melhoria no sistema de esgoto e construção de estruturas de concreto; e três formas de adaptação verde²⁰: arborização, palestras temáticas e implementação de cursos superiores (Figura 16).

Figura 4.16- Principais estratégias de adaptação da população à uma possível elevação do NMM por setores costeiros em Salinópolis-Pará



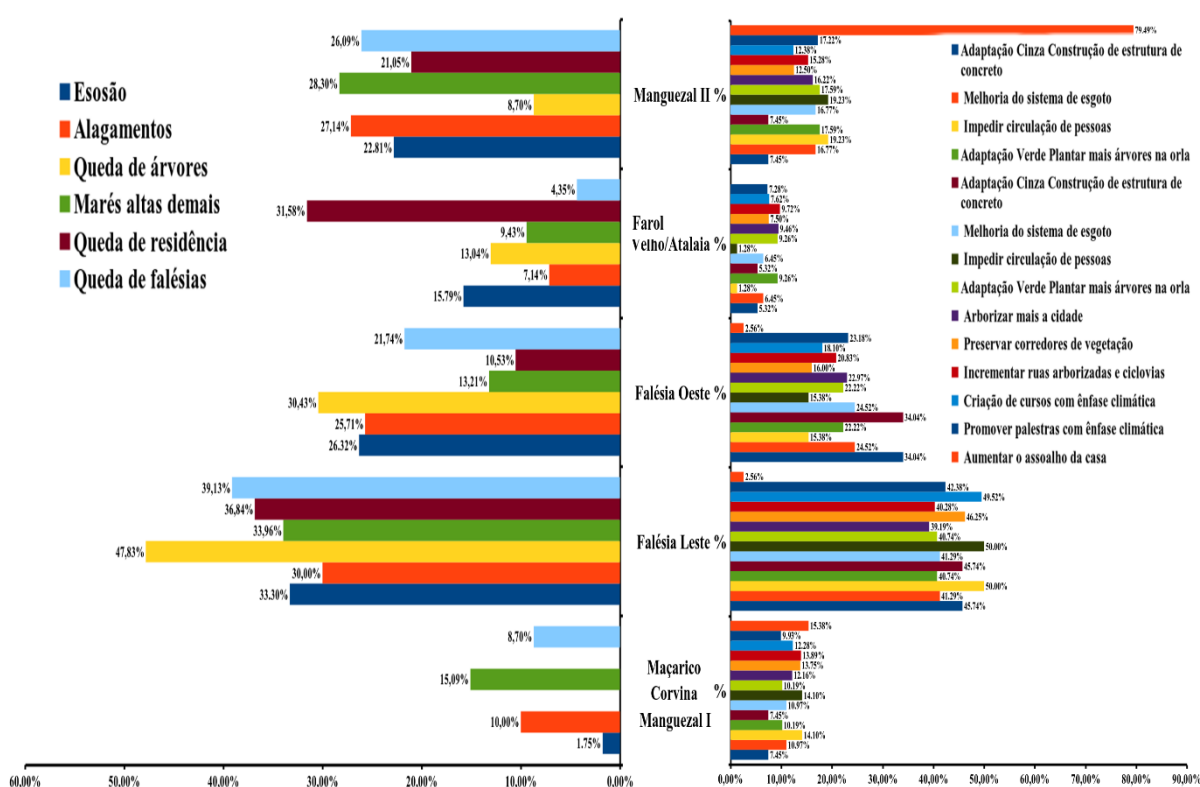
Fonte: Elaborada pelo autor a partir da análise de questionário de pesquisa de campo em 06/2018.

¹⁹ Estruturas convencionais, como reservatórios, bacias de detenção e condução, ruas, pontes, capeamentos, estradas, construídas com concreto ou metal, que inicialmente tem a preocupação imediata de conter o processo, sem estudo ambiental detalhado prévio em muitos casos (ICLEI, 2014).

²⁰ Rede de áreas naturais interconectadas, como corredores verdes, parques, zonas úmidas, reservas florestais e comunidades de plantas nativas, e áreas marinhas que naturalmente regulam o regime de chuvas, a temperatura, o risco de inundações e a qualidade da água, do ar e do ecossistema, que juntas aumentam a saúde e a resiliência dos ecossistemas, contribuem para a conservação da biodiversidade e beneficiam populações humanas por meio da manutenção e aprimoramento dos serviços ecossistêmicos. (ICLEI, 2014, 2017; PNA/MMA, 2016).

No Setores de Maçarico/Corvina/Manguezal I os principais problemas destacados pela população são as marés altas demais e os alagamentos. Como respostas em forma de estratégias de adaptação, levando em consideração o aumento futuro do NMM, as quatro principais estratégias para estes setores de Orla seriam: melhoria do sistema de esgoto, promoção de palestras temáticas, plantio de árvores e criação de cursos superiores com ênfase climática. A Figura 17 faz a correlação entre os principais impactos e as estratégias de adaptação e intervenção citadas pela população por setores costeiros.

Figura 4.17- Correlação por setores de Orla da percepção dos principais impactos e estratégias de adaptação e intervenção frente à possível elevação do NMM em Salinópolis, Zona Costeira Amazônica.



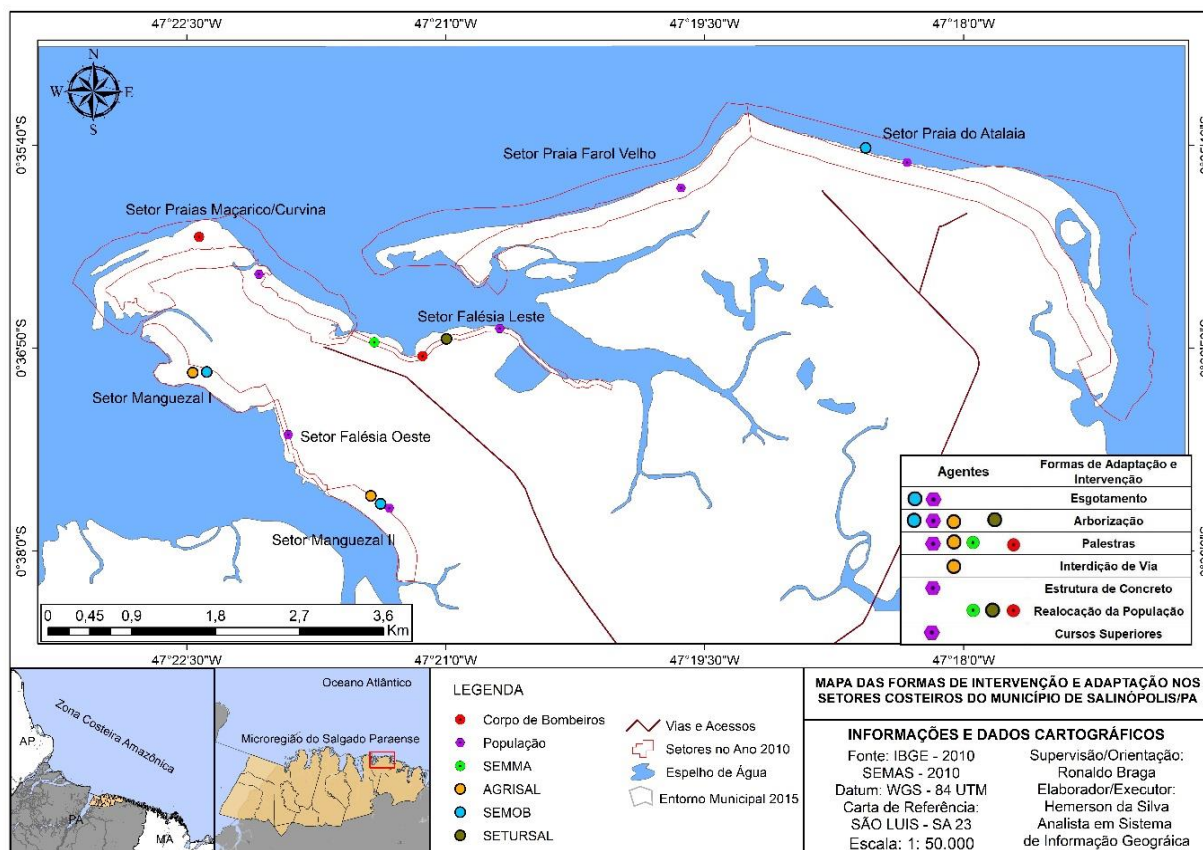
Fonte: Elaborado pelo autor a partir da análise de questionário de pesquisa de campo em 06/2018.

No setor de Falésia Leste, os problemas vivenciados pela população são: queda de árvores e queda de falésia. As principais estratégias para este setor seriam impedir a circulação de pessoas, cursos superiores e preservar a vegetação existente. Na Falésia Oeste, os principais problemas são: erosão, alagamentos e queda de árvores e como estratégias seriam, impedir a circulação de pessoas e promover palestras. No setor Farol Velho/Atalaia são destacados como principais problemas: a queda de residências e a erosão e como estratégias futuras de adaptação, a arborização, promoção de palestras e implantação de cursos superiores. No setor de

Manguezal II, a população destaca os alagamentos e as marés altas demais, e como estratégias seriam: aumentar o assoalho, promover palestras e melhorar o sistema de esgoto.

Levando em consideração a percepção de impactos da elevação do nível do mar da população, da Defesa Civil e das Secretarias Municipais, as principais estratégias de adaptação e intervenção foram especializadas na Orla de Salinópolis da seguinte forma (Figura 18).

Figura 4.18- Formas de intervenção e adaptação frente à possível elevação do NMM pela população, pelas principais Secretarias Municipais e pela Defesa Civil na Orla de Salinópolis.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018)

A percepção da população, da gestão municipal e da defesa civil é a expressão, não somente de uma realidade atual, mas principalmente, de um anseio por melhorias na qualidade de vida diante de uma possível elevação do nível do mar na área. Do total da população questionada, 100% da população e todas as Secretarias e a Defesa Civil reconhecem que há a necessidade de políticas de estratégias de adaptação diante dos impactos prováveis da elevação do NMM em Salinópolis. Oficialmente, as estratégias executadas são de responsabilidade da gestão Municipal atual. No entanto, em alguns setores da Orla, a população entende que as melhorias na infraestrutura urbana advindas do poder público, não alcançarão seu local de moradia, por isso, criam suas próprias estratégias de adaptação (Figura 19).

Figura 4.19- G) Praia do Atalaia: ocupação da zona de estirâncio da praia por bares e restaurantes com assoalhos levantados para evitar destruição de estruturas; H) Casas com assoalho levantado e ruas construídas sobre canal de maré



Fotos: Ronaldo Braga (2018)

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do Modelo Digital de Elevação do Terreno de Salinópolis, permitiu distinguir a Zona Costeira de Baixa Elevação. Também sobre o Modelo foi possível projetar um metro de elevação do NMM, baseado no cenário RCP8.5 do Quinto Relatório do Painel intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC (2013). Com esta projeção, o que se verificou foi a configuração de uma nova Linha de Costa, dessa forma, quantificou-se as perdas ambientais. O que se verificou foi a vulnerabilidade à elevação eustática sobre a Orla resultante, principalmente devido à baixa altimetria. A área urbana, topograficamente mais elevada não será intensamente afetada.

A aplicação dos questionários por setores censitários e em locais setorizados da Orla costeira, mostrou que a população e as principais Secretarias Municipais percebem os impactos da variação do NMM. Também se constatou que a Prefeitura não possui estratégia no Plano Diretor nem na Lei Orgânica Municipal para adaptação dos impactos de uma possível subida do mar na área. Também por esse motivo, as populações criam e projetam criar cenários e estratégias próprias de adaptação.

Além das perdas ambientais, a metodologia utilizando os indicadores de renda, idade e condição de moradia mostrou que Salinópolis possui imensa população vulnerável socialmente que de acordo com Cutter (2011) e o que se observou em campo, certamente será a parcela da população mais afetada pela elevação do mar.

A projeção do cenário de elevação do NMM por setores de Orla em Salinópolis, demonstra o conhecimento de uma realidade futura. Realidade esta, que se materializará com perdas ambientais e impactos sociais. Dessa forma, o prognóstico também se constitui em instrumento de subsídio para a gestão da zona costeira, com vistas na previsão de impactos, estratégias adequadas de adaptação e intervenção e melhoria da qualidade socioambiental futura.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. Neil; *et al.* Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies*, v. 3, n. 3, p. 179-195. 2003.

ALBUQUERQUE, Monik Fernandes et al. Precipitação nas Mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 6, p. 151-168. jun. 2010.

ANDERSON, K. Eric; *et al.* Preface: Report Motivation and Guidance for Using this Synthesis/Assessment Report. In: ANDERSON, K. Eric, *et al.* (Org.). *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*. Washington (EUA): Environmental Protection Agency, 2009. p. xiii-viv.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332p.

BARBI, Fabiana. *Mudanças climáticas e respostas políticas nas cidades: os riscos na Baixada Santista*. Campinas: Unicampi, 2015.

BEZERRA, Denilson da Silva. *Modelagem da Dinâmica do manguezal frente à elevação do nível do mar*. 2014, 158 p. Tese de Doutorado em Ciências do Sistema Terrestre. Universidade de São José dos Campos, São Paulo. 2014.

BOULHOSA, Messiana Beatriz Malato; SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins e. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 23-37. 2009.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DO PARÁ (COHAB). *Levantamento aerofotogramétrico de Salinópolis*, 2001.

CONTI, José Bueno. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, São Paulo, v. 16, p. 70-75, 2005.

CPRM. *Serviço geológico do Brasil*. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 07 de dez. 2018.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTE/INPE). *Centro de previsão de tempo e estudos climáticos*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 20 mai. 2017.

CROWLEY, Thomas J.; BERNER, Robert A. CO₂ and Climate Change. *Science May*, v. 292, n. 5518, p. 870-872. mai. 2001.

CUTTER, Susan L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, Portugal, v. 93, p. 59-69, 2011.

DOU, Ting-Feng; XIAO, Cun De. An overview of black carbon deposition and its radiative forcing over the Arctic. *Science Direct Advances in Climate Change Research*, v. 7, n. 3, p. 115-122. set. 2016.

EKSTRÖM, Marie; *et al.* The method of producing climate change datasets impacts the resulting policy guidance and chance of mal-adaptation. *Climate Services*, v. 4, p. 13–29. dez. 2016.

EL-ROBRINI, Maamar; *et al.* Erosão e progradação no Pará. In: MUEHE, Dieter. (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: *Ministério do Meio Ambiente*, 2006. p. 41-86.

FONTELLES, Mauro José. *Bioestatística aplicada a pesquisa experimental*. São Paulo: Livraria da física, 2012. 420p.

FRANÇA, Carmena Ferreira. *Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da ilha de Marajó (PA)*. 2003, 144 p. Tese de Doutorado em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém.

GERMANI, Yana Friedrich; FIGUEREDO, Salete Amaral.; TAGLIANI, Carlos Roney Armanini. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, Porto, v. 15 n. 1, p. 121-131, 2015.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; GUTIERREZ, Benjamin; *et al.* *Using a Bayesian Network to Predict Shoreline-Change Vulnerability to Sea-Level Rise for the Coasts of the United States*. Virgínia, U.S.A: Geological Survey, 2014, 32p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em: 6 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/salinopolis/panorama>. Acesso em: 2 dez. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/. Acesso: 12 dez. 2018.

ICLEI. *Adaptação baseada em Ecossistemas*. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Curitiba: Iclei/Fundação Boticário, 2014, 82p.

ICLEI. *Guia de Ação Local pelo Clima*. São Paulo: Iclei, 2017, 96p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker, T. F. et al. (Ed.). *Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change. The Mitigation of Climate Change. Work group III para. New York / London: Cambridge University Press, 2007, 851p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Summary for policy makers*. In: *Climate Change*. Impacts, adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.

JOHNS, William E.; CASTRO, Belmiro M.; SOARES, Ivan Dias. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research* (Online), v. 16, n. 5/6, p. 575-616. 1996.

KLEIN, Richard; SCHIPPER, Lisa; DESSAI, Suraje. Integrating mitigation and adaptation in to climate and development policy: three research questions. *Environmental Science e Policy* (Online), v. 8, n. 1, p. 579-588. 2005.

LAUKKONEN, Julia; *et al.* Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, v. 33, n. 3, p. 287-292, 2009.

LEPLAC. Plano de Levantamento da plataforma continental brasileira. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/downloads>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS - LOMS. Câmara Municipal, 2011.

MARENGO, José Antônio; NOBRE, Carlos A. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque, et al (Org). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p.197-212. 2009.

MELO, Paulo Alves de. *Apropriação da natureza e sensibilidade da paisagem costeira: proposições para a gestão ambiental da área urbana de Salinópolis, Pará*. 2008, 96 p. Dissertação de Mestrado em Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal do Pará, Belém.

MUEHE, Dieter. *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 475p.

MUEHE, Dieter. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: GUERRA, A.; CUNHA, S. (Org.) *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.273-349.

MUEHE, Dieter; NICOLODI, João Luís. Geomorfologia. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008. p. 23-40.

MUSA, Zahrah N.; POPESCU, Ioana; MYNETT, Arthur. Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta. *Ocean & Coastal Management*, v. 130. p. 221-228, 2016.

- NEVES, Carlos Freitas; MUEHE, Dieter. Vulnerabilidade, impactos e adaptação. *Parcerias estratégicas*, Brasília, v. 13, n. 27, dez. 2008.
- NICHOLLS, Robert J.; CAZENAVE, Anny. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, v. 328, n. 5985, p. 1517-1520. jun. 2010.
- NICHOLLS, Robert J; *et al.* Sea-levels cenários for evaluating coastal impacts. *Wires Clim Change*, v. 5, n. 1, p. 129-150. out. 2013.
- OBERMAIER, Martin; ROSA, Pinguelli Rosa. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. *Estudos avançados*, São Paulo, v. 27, n. 78, p. 155-175, 2013.
- ODEKU, Kola. Climate change: strengthening mitigation and adaptation in south africa. *Journal of African Law* (Online), v. 54, n. 2, pp. 159-183. 2010. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41149808?seq=1#page_scan_tab_contents>. Acesso em: 12 dez. 2017.
- PARÁ. Câmara Municipal De Salinópolis. *Plano diretor participativo do município de Salinópolis - PDPMS*. Lei 2.791/2006. 2006.
- PETRIE, G.; KENNIE T. J. M. Terrain modelling in surveying and civil engineering hardcover. *Whittles Publishing*, 1990. 351p.
- PILKEY, Orrin H. *Coastal erosion. Episodes*, v. 14, p. 46-51, 1991.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano nacional de adaptação: Zonas Costeiras. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*. Brasília, p. 237-262, 2016.
- PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO - PNGC II. *Lei 7.661, de 16/05/88*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80033/0.PNGC-II97%20Resolucao05_97.CIRM.pdf. Acesso em: 10 mar. 2016.
- PROST, Maria Thereza; MENDES, Amílcar Carvalho. *Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Guedi, 2013. 220p.
- RAMESH, R.; *et al.* Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present e future. *Anthropocene*, v. 12, p. 85-98. dez. 2015.
- RANIERI, Leilane A.; EL-ROBRINI, Maamar. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Revista Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 42, n. 3, p. 207-226. set-dez. 2015.
- RANIERI, Leilane A; EL-ROBRINI, Maamar. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis. *Revista de gestão costeira integrada*, v. 16, n. 2, p. 133-146. 2016.
- REN, Guoyu. Urbanization as a major driver of urban climate change. *Science Direct Advances in Climate Change Research*, v. 6, p. 1-6. out. 2015.
- RIBEIRO, Wagner Costa. *Ordem Ambiental Internacional*. São Paulo: Contexto, 2008, 180p.

RIBON, Hully Cordovil, *et al.* Turismo como potencial para promoção do desenvolvimento local sustentável no Atalaia, em Salinópolis/PA. *Revista Grifos*, v. 26, n. 43, p. 96-132. 2017.

SANTOS, Milton. *A urbanização brasileira*. São Paulo: Edusp, 176p. 2008.

SANTOS, Milton. *Pobreza urbana*. São Paulo: Edusp. 136 p. 2013.

SMIT, Barry; WANDEL, Johanna. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 282-292. ago. 2006.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir; EL-ROBRINI, Maâmar. As variações do nível do mar e a estratigrafia de seqüências da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Boletim MPEG*, v. 10, p. 45-78, 1998.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir; EL-ROBRINI, Maâmar. *As influências das variações do nível do mar na sedimentação da planície costeira bragantina durante o Holoceno-Nordeste do Pará, Brasil*. Belém: FINEP/SBG Núcleo Norte, 1997.

SOUZA, Celia. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

SOUZA, Celia Regina, *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, Célia Regina de Gouveia; SUGUIU, Kenitiro; OLIVEIRA, Antonio Manuel dos Santos, Oliveira, Paulo Eduardo de (Org). Quaternário do Brasil. São Paulo: ABEQUA/Holos, 2005. p. 130-152. Srtm data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, n. 1, p. 53-64, 2008.

STEFFEN, Will; *et al.* The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions, Royal Society*, v. 369, p. 842-867, 2011.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini, *et al.* Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gavel*, Porto Alegre, n. 4, p. 89-98, 2006.

VALERIANO, Márcio de Morrison; ROSSETTI, Dilce de Fátima. Topographic modeling of marajó island with SRTM Data. *Revista brasileira de geomorfologia*, v. 9, n. 1, p. 53-64. 2008.

ZHOU, Wen-Ling, *et al.* From global change to Future Earth in China. *Adv, ances in Climate Change Resear*, v. 6, p. 92-100, 2015.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO GERAL

5.1 RESULTADOS CHAVES: IMPACTOS E IMPLICAÇÕES

O estudo da vulnerabilidade costeira tem sido realizado em diversas partes do mundo, com intuito principal de determinar o índice que possa possibilitar a intervenção de uma gestão mais sustentável e a melhoria da qualidade socioambiental.

A condição de perda ou dano de determinados setores costeiros, associadas à condição de susceptibilidade frente a eventos próprios da dinâmica física da zona costeira, caracteriza a condição de vulnerabilidade. Essa condição tem sido aumentada diante dos cenários de elevação do nível do mar, propagado pelo Quinto Relatório de Mudanças Climáticas do IPCC (2013).

Seguindo a tendência mundial e nacional, utilizou-se a linha metodológica já consagrada nas pesquisas internacionais para estudo da vulnerabilidade costeira, com algumas modificações. Esta análise foi realizada no Município de Salinópolis, setor Norte da Zona Costeira Amazônica. Dessa forma, destacamos a seguir os principais resultados da pesquisa.

1. A partir de revisão de literatura tem-se que a zona costeira de Salinópolis apresenta configuração geomorfológica resultante das variações pretéritas do nível do mar e das dinâmicas atual natural e antrópica. A particularidade regional e local de sua fisiografia, constitui-se um fator de Alta vulnerabilidade às variações do mar, tanto de sua ação energética, quanto das eustáticas.
2. Com a análise de imagens orbitais, manipulação de software de geoprocessamento e aplicação da metodologia do Projeto Orla (2006), foi possível mapear e classificar o litoral de Salinópolis em sete setores, cujo resultado foi o seguinte: Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina: Orla exposta não urbanizada; Costa de Falésias Leste: Orla semi exposta e urbanizada; Costa de Falésias Oeste, Orla abrigada e urbanizada; Setor de Manguezal I: Orla abrigada e não urbanizada; Setor de Manguezal II: Orla abrigada e não urbanizada; Praia do Farol Velho: Orla exposta e parcialmente urbanizada; Praia do Atalaia: Orla exposta e parcialmente urbanizada.
3. A interpolação por Krigagem resultou na confecção de um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) em Salinópolis.
4. Também como resultado da interpolação foi determinação a Zona Costeira de Baixa Elevação em Salinópolis. Esta Zona é considerada na literatura internacional a área máxima de extensão para gestão e planejamento em possível cenário de elevação do nível do mar.

5. A partir da análise dos parâmetros geológicos, geomorfológicos e oceanográficos foi possível a classificação da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis, por setores de Orla, cuja determinação do índice foi o seguinte: Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina: Muito Alto; Costa de Falésias Leste: Moderado; Costa de Falésias Oeste: Moderado; Setor de Manguezal I: Muito Alto; Setor de Manguezal II: Muito Alto; Praia do Farol Velho: Muito Alto; Praia do Atalaia; Muito Alto
6. As maiores incidências de processos erosivos ocorrem na Orla das praias do Farol Velho e Atalaia, cujas causas estão associadas à ocupação irregular da Orla e à energia potencial de ondas, dissipando 6.405 w/m e 11.387,91 w/m, respectivamente.
7. O valor da Constante Estimada da variação do NMM em Salinópolis para as séries temporais de 1951-1956 é de (-0,868 mm/ano) e para a série 2005-2016 é de (-0,1288 mm/ano). Isso significa que o mar não está aumentando seu nível no local. Esta constatação é afirmada pela dinâmica costeira atual, que apresenta claramente tendência progradante da linha de costa entre os anos de 1984 a 2015. No entanto, considerando o cenário de aumento do NMM em aproximadamente um metro ou 1000 milímetros (mm) tem-se que de 2013 a 2100 há uma variação positiva de 11,49 mm/ano, com tendência de retrogradação costeira.
8. Considerando a tendência progradante, de relativa estabilidade do NNM em Salinópolis, constatada pelos valores da Constante Estimada das séries temporais de 1951-1956 e 2005-2016 e da análise multitemporal dos anos de 1984 a 2015, associados às variáveis geológicas, geomorfológicas e oceanográficas, tem-se que o Índice de vulnerabilidade Costeira foi classificado da seguinte forma: Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina: Moderado; Costa de Falésias Leste: Baixo; Costa de Falésias Oeste: Baixo; Setor de Manguezal I: Alto; Setor de Manguezal II: Baixo; Praia do Farol Velho: Moderado; Praia do Atalaia; Alto
9. Com a projeção do cenário RCP8.5 do IPCC aplicado à costa de Salinópolis, até o ano de 2100, tem-se uma tendência predominantemente progradante, com Índice de Vulnerabilidade Costeira classificado por setores de orla da seguinte forma: Costa de praias arenosas Maçarico/Corvina: Muito Alto; Costa de Falésias Leste: Alto; Costa de Falésias Oeste: Baixo; Setor de Manguezal I: Muito Alto; Setor de Manguezal II: Muito Alto; Praia do Farol Velho: Muito Alto; Praia do Atalaia; Muito Alto.
10. Não há estratégias de adaptação aos impactos socioambientais advindos da elevação do NNM em Salinópolis no Plano Diretor Municipal.

11. A tendência de retrogradação da linha de costa, materializada com a projeção da elevação do NMM em Salinópolis, implicará em impactos, principalmente sobre os sistemas ambientais ou unidades de paisagens de praias, manguezais, dunas e falésias.
12. Caso as projeções de elevação do NMM se confirmem na área, os impactos sobre as estruturas construídas e sobre a população mais vulnerável socialmente e economicamente serão potencializadas, devido a falta de políticas públicas de intervenção e adaptação a nível local.
13. A aplicação de questionários para a população por setores costeiros, revelou que a mesma reconhece a falta de políticas de intervenção e adaptação dos governos diante dos impactos de uma possível elevação do NMM em seus locais de moradia e a mesmo tempo, criam suas próprias estratégias.

5.2 PRIORIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os impactos socioambientais advindos das mudanças climáticas, tem sido percebido nos sistemas naturais e antrópicos em todo mundo. Uma das principais mudanças constatadas é a elevação do NMM. O Quinto Relatório sobre mudanças Climáticas do IPCC (2013) e a altimetria por satélite (AVISO, 2019) mostram que o mar tem aumentado seu nível. Como apontam Ramesh et al. (2015), com esse aumento, as zonas costeiras, sofrerão grandes impactos, visto possuírem características que aumentam seu grau de vulnerabilidade.

A determinação do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar e do Índice de Vulnerabilidade Costeira à elevação do NM em Salinópolis constitui-se em instrumental científico para subsidiar políticas públicas direcionadas à gestão costeira local. Além, os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa podem ser replicados para outros Municípios da Zona Costeira Amazônica, considerando os dados das variáveis locais.

Há de se considerar também, que grandes extensões da Zona Costeira Amazônica ainda se encontram descobertas de pesquisas que analisem o sistemismo entre as diversas variáveis físicas e a dinâmica socioespacial. Por isso, este trabalho também direciona esforços nessa compreensão.

As políticas públicas dos governos locais na Zona Costeira Amazônica não levam em consideração os potenciais impactos da elevação do nível do mar. Em Salinópolis fica evidente pela fala das principais Secretarias, que há conhecimento por parte desses órgãos, que a nível mundial está ocorrendo a elevação do nível dos oceanos, no entanto, as políticas de estratégias futuras de mitigação e adaptação não são presentes no Plano Diretor, nem fazem parte dos

projetos a curto, médio e longos prazos. A classificação da maioria da Orla costeira desse município com elevados índices de vulnerabilidade à elevação do NMM, é um documento que mostra a necessidade do governo local, começar a direcionar planos e estratégias de adaptação, como também, servir de base para pesquisas futuras em outros Municípios desse tão dinâmico Litoral Norte Amazônico.

A Zona Costeira possui grande extensão territorial na chamada Zona Costeira de Baixa Elevação, ou seja, áreas abaixo de 10m topográficos. Essa particularidade faz essa área ser naturalmente vulnerável à elevação do NMM. Há dessa forma, a necessidade de que pesquisas futuras, sejam realizadas nessa região, enfocando os riscos, os prejuízos econômicos e os impactos sobre as populações mais vulneráveis.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tese apresentada é resultado de intensa e extensa pesquisa de referencial bibliográfico, trabalho de campo, manipulação de dados estatísticos, análise de imagens orbitais, entrevistas, análise de arquivos e dados de sites especializados, rotinas de Software de geoprocessamento, além de reuniões com professores e colegas de curso.

A vulnerabilidade física costeira, principalmente relacionada à ação energética do mar e à elevação do NMM, tem sido temas abordados constantemente em artigos científicos em diversas partes do mundo, como também em alguns setores do litoral do Brasil. A presente Tese parte de instrumental metodológico já reconhecido na literatura mundial e dá prosseguimento a uma série de pesquisas que se desenvolveram e se desenvolvem no Litoral Amazônico, principalmente no âmbito da Universidade Federal do Pará.

O cenário de projeção de 1 metro de elevação do NMM e as perdas ambientais quantificadas, bem como os impactos sociais, não ocorrerão abruptamente, pois, neste cenário alarmista, o mar aumentaria 11,49 mm/ano. Dessa forma, os próprios ecossistemas se readaptariam as mudanças. No entanto, a quantificação é necessária devido a necessidade de conhecimento dos potenciais impactos relacionados a essa elevação e da importância de planejamento institucional para evitar ou minimizar os impactos socioambientais.

A projeção do cenário RCP8.5 é o mais alarmista. No entanto, os cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0 apresentam menores elevações do NMM até o ano 2100. Dessa forma, a Zona Costeira Amazônica, como também o litoral mundial, podem apresentar elevações eustáticas inferiores diferenciadas. Especificamente para Salinópolis, o monitoramento de 31 anos da linha

de costa e a análise da série temporal de 12 anos demonstraram avanço da vegetação de mangue e relativo recuo do nível do mar.

Uma das maiores dificuldades enfrentadas para a realização da pesquisa, foi na construção do Modelo Digital de Elevação do Terreno de Salinópolis. Os bancos de dados de bases altimétricas são escassos, ou demandam recursos financeiros elevados, por esse motivo, optou-se pela interpolação de dados do levantamento aeroespacial da Secretaria de Habitação do Estado do Pará e do modelo de altimetria das imagens STRM, do banco de dados do Serviço Geológico Americano. Entende-se, que com dados mais ajustados, o Modelo teria uma melhor acurácia, no entanto, essa metodologia tem sido utilizada no Brasil para trabalhos com esse tipo de enfoque.

Destaca-se a necessidade de implementação de estratégias de adaptação para as populações mais vulneráveis aos impactos da ação do mar. A ausência dessas políticas tem exposto essas populações aos impactos da ação energética do mar e futuramente da elevação do nível do mar. No entanto, essas populações, por necessidade de sobrevivência, e principalmente de habitação, criam suas próprias estratégias de intervenção e adaptação.

A análise dos dados sociais do IBGE (2010) por setores censitários nos setores costeiros, no início foi apenas parte da pesquisa e da necessidade de se obter dados com tais características. Não é nada sensível apenas plotar que centenas de Salinopolitanos vivem sem renda ou com renda mensal inferior a meio salário mínimo. No entanto, a pesquisa de campo (**me levou a conversar com essas pessoas e entrar nos seus lares**). O que era apenas dados plotados, se tornaram em rostos de pobreza. Diante de tal situação, se tornou, em minha visão, inconcebível a gestão pública não possuir alguma estratégia de adaptação à impactos que possam sobreviver a essas pessoas.

Por fim, essa pesquisa não seria possível sem o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará IFPA/CAMPUS BELÉM. Por isso, faço mais uma vez lembrado meus imensos agradecimentos a essa Instituição que, além de primar por um ensino de qualidade em sua modalidade técnico e superior, entende que tal qualidade é resultado do incentivo à pesquisa, que somente serão possíveis pela qualificação docente.

REFERÊNCIAS

- ABEL, Nick; *et al.* level rise, coastal development and planned retreat: analytical framework, governance principles and Australian case study. *Environmental Science e Policy* v.14 p.279-288, fev, 2011.
- ABUODHA, Pamela. A.; WOODROFFE, Colin. D. Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast. *University of Wollongong. Research (Online)* jul, 2006.
- AEROLA, TT. Mudanças climáticas globais: passado, presente e future. *Departamento de Geociências*, p.1-10, 2003.
- ALLEY, Richard. B. Ice-core evidence of abrupt climate changes. *PNAS* 97 v.4, p.1331-1334. fev, 2000
- ALLEY, Richard. B. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. *Quaternary Science Reviews* v.19, p.213-226. 2000.
- ALLEY, Richard. B; LYNCH-STIEGLITZ, Jean; SEVERINGHAUS, Jeffrey P. Global climate change. *PNAS Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96 v.18, p. 9987-9988. Ago, 1999.
- ANNAN, James D; HARGREAVES, Julia C. Using multiple observationally based constraints to estimate climate sensitivity, *Geophysical Research Letters* v.33 p.1-4. mar, 2006
- AVISO/Satellite Altimetry Data. Disponível: <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/data-access.html>. Acesso: 15 fev. 2019.
- BARBI, Fabiana. Mudanças climáticas e respostas políticas nas cidades: os riscos na Baixada Santista. Campinas, São Paulo, editora da unicampi, 2015.
- BENESTAD, Rasmus E. Solar Activity and Earth's Climate. *Eos* 84 v.29 p.277, 2002.
- BENESTAD, Rasmus E; SCHMIDT, Gavin A. Solar trends and global warming, J. *Geophys. Res* v.114 p. 1-18. 2009.
- BEZERRA, D. S. *Modelagem da dinâmica do manguezal frente à elevação do nível do mar*. São José dos Campos, 2014, 158 p. Tese de doutorado em Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- BINDOFF, Nathaniel; *et al.* Observations: oceanic climate and sea level. In: *Climate change The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, p.978. 2007
- BOYLE, Edward A. Is ocean thermohaline circulation linked to abrupt stadial/interstadial transitions? *Quaternary Science Reviews* v. 19, p. 255-272. 2000.
- BROECKER, Wallace S. Was a change in thermohaline circulation responsible for the Little Ice Age? *PNAS* 97 v.4, p.1339-1342. fev, 2000.
- CAMP, Charles D; TUNG, Ka Kit. Surface warming by the solar cycle as revealed by the composite mean difference projection. *Geophysical Research Letters* v.34, p.1-5, 2007.

CARSLAW, Ken S; HARRISON R. Giles; KIRKBY, Jasper. Cosmic Rays, Clouds, and Climate. *Science* v.298, p.1732-1737. nov, 2002.

CAZENAVE, Anny; REMY, Frédérique. Sea level and climate: measurements and causes of changes, Interdisciplinary Reviews. *Climate Change 2* v.5 p.647-662. set, 2011.

CHIN, Jason A.; *et al.* An evolving Anthropocene for science and society. *Elsevier Anthropocene* v.13 n. 1 p.1-3, 2016.

COELHO, Carlos Daniel Borges *et al.* Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira. Aveiro, 2005, 405 f. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2005.

CONTI, José Bueno. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia* n.16, p.70-75, out, 2005.

CROSSLAND, Marshall; *et al.* Fluxes in the Anthropocene: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere–Biosphere Programme, *Global Change – The IGBP Series, New York*, p.253, 2005.

CROWLEY, Thomas J; BERNER, Robert A. CO₂ and Climate Change. *Science* 292, v.5518, p.870-872. mai, 2001.

CRUTZEN, Paul J; STOERMER, Eugene F. The Anthropocene. *IGBP Newsletter*, v.41.1, p.17-18, mai, 2000.

CUTTER, Susan L. Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, n. 93. 2011. p. 59-69.

DASGUPTA, Susmita; MEISNER, Craig. Climate Change and Sea Level Rise. A Review of the Scientific Evidence. The World Bank *Environment Department, Climate Change Series*, v.36 p.118 mai, 2009.

DOU, Ting-Feng F; XIAO, Cun-De. An overview of black carbon deposition and its radiative forcing over the Arctic. *Science Direct Advances in Climate Change Research*. v.7, p.115-122. fev, 2016.

EDWARDS, Paul N. A vast machine: computer models, climate data, and the politics of global warming. Cambridge, Massachusetts, London, England, 2010.

GERMANI, Yana Friedrich; *et al.* Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 15, n. 1, mar. 2015. p. 121-131.

GILDOR, Hezi; TZIPERMAN, Eli. Sea-ice switches and abrupt climate change. *Phil. Trans. R. Soc. Lond* v. 361, p.1935-1944, jul, 2003.

GORNITZ, Vivien. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 89, mar. 1991. p. 379-398 (Global and Planetary Change Section/Elsevier Science).

GRILLAKIS, Manolis G.; *et al.* Implications of 2 °C global warming in European summer tourism. *Climate Service*, v.1, p. 30-38. mar. 2016.

GUTIERREZ, Benjamin; *et al.* *Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States*. Virginia: Geological Survey, 2014. 26 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141083>. Acesso em: 2017

HOFFMAN, Paul F, *et al.* Neoproterozoic Snowball Earth Paul. *Science*. v. 281 p.1342-1346. ago,1998.

ICLEI. Adaptação baseada em ecossistemas. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Curitiba. Iclei/Fundação Boticário, 2013.

ICLEI. Adaptação baseada em ecossistemas. Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Curitiba. Iclei/Fundação Boticário, 2015.

ICLEI. Programa Cidades Sustentáveis, 2016: Guia de Ação Local pelo Clima. São Paulo, Brasil, ISBN 978-85-99093-29-0, Iclei, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. *Censo Demográfico 2010*. Acesso em: 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, 2011. 176p.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change. The Mitigation of Climate Change. Contribuição do grupo de trabalho III para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. Cambridge University Press, New York, p. 51. 2007

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: Climate Change. Impacts, adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, p. 1-32. 2014.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Climate change the physical science basis: Contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, New York, p. 1535, 2013

JURAS, Ilidia Ascensão. *Mudança do clima: principais conclusões do 5º Relatório do IPCC*, Nota Técnica. Brasília. Câmara dos Deputados, Praça dos Três Poderes. Consultoria Legislativa Anexo III, p.9, nov, 2014.

KANG, Shic-hang; KONG, Zhi-Yuan. Atmospheric black carbon and its effects on cryosphere. *Science Direct. Advances in Climate Change Research* v.7, p.113-114, out, 2016.

- KLEIN, Richard J.T; NICHOLLS, Robert J. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28 v.2, p. 182-187, mar, 1999.
- KRUGER, Tobias. Discovering the ice ages. International reception and consequences for a historical understanding of climate, *Brill*, v.37 p. 556. jun, 2013.
- LEITE, José Correa. Do mistério das eras do gelo às mudanças climáticas abruptas. *Scientiae Studia*, São Paulo v.13, p.811-39. Jun, 2015.
- LEVITUS, S.; *et al.* Global Ocean heat content 1955-2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res* v.36 p.7-16. abr, 2009.
- LYMANN, John M, *et al.* Robust warming of the global upper ocean, *Nature* v.465, p.334-337, Mai, 2010.
- MCSWEENEY, Carol F; JONE, Richard G. How representative is the spread of climate projections from the 5 CMIP5 GCMs used in ISI-MIP? *Climate Services* v.1, p. 24-29. mar, 2016.
- MUEHE, Dieter, NEVES, Claudio Freitas. Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. *Parcerias estratégicas*, 13 v.27, p.151-177. 2010.
- MUEHE, Dieter. (Org.). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 476 p.
- MUEHE, Dieter. NICOLODI, João Luiz. Geomorfologia. In: ZAMBONI, Ademilson; NICOLODI, João Luiz (Org). *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2008. p. 23-41.
- MUEHE, Dieter. *O litoral brasileiro e sua compartimentação*. In: GUERRA, Antônio José; CUNHA, Sandra Batista. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 273-349. 2003.
- MUEHE, Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator, Fortaleza*, v. 4, n. 7, nov. 2008. p. 97-110.
- NICHOLLS, Robert, *et al.* Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIRE's Clim Change*, v. 5, ed. 1, p. 129–150. out. 2014.
- NICHOLLS, Robert; CAZENAVE, Anny. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science, New Series* 328, v. 5985, p. 1517-1520. jun, 2010.
- NICHOLLS, Robert; SMALL, Christopher. Improved Estimates of Coastal Population and Exposure to Hazards Released. *Eos* 83, v. 28, p.301-305. jun, 2002.
- NICOLODI, João Luiz; PETERMANN, Rafael Mueller. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10, v.2, p.151-177, mar, 2010.
- NOAA, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Acesso: set. 2019. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>.

NOBRE, Carlos (Coord.). Relatório de atividades - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (2010-2011), 2011. p.96, 2011.

NOBRE, Carlos. Relatório de atividades. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas 2010-2011, *MCT*, p.96, 2011.

NOBRE, Carlos; Mudanças climáticas e o Brasil-contextualização. *Parcerias Estratégicas* 13 v.27, p.7-17, dez, 2008.

NOBRE, Carlos; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luiz. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. *Parcerias Estratégicas* 13 v.27, p. 19-42, dez, 2008.

OVERLAND, James E.; *et al.* Future Arctic climate changes: Adaptation and mitigation time scales, *Earth's Future* 2 v.2, p.1-7, dez, 2013.

OVERPECK, Jonathan T. Paleoclimatic Evidence for Future Ice-Sheet Instability and Rapid Sea-Level Rise. *Science* v.311, p.1747-1751, mar, 2006.

OVERPECK, Jonathan; WEBB, Robert. Nonglacial rapid climate events: Past and future. *PNAS*. 97 v.4, p.1335–1338, fev, 2000.

PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, *sumario executivo do volume 1 base GT I*. Rio de Janeiro, PBMC, p.34, 2012.

PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do GT III. Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*, Rio de Janeiro, COPPE, p. 463, 2014.

PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. *Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do GT III. Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. COPPE, RJ, Brasil, p.463, 2014.

PENDLETON, Elizabeth, A.; *et al.* Coastal Vulnerability Assessment of Gateway National Recreation Area (GATE) to Sea-Level Rise. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey, 2005.

PEREIRA, Carla; COELHO, Carlos. Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar (Coastal Risk Maps DuettoWavesAction). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Portugal, v. 13, n. 1, p. 27-43. 2013.

PETIT, William A. R.; *et al.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399 v.3, p.429-436. jun, 1999.

PLANO NACIONAL DE ADAPTAÇÃO: ZONAS COSTEIRAS – PNA/MMA. In: O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. MMA, 2016.

PNGC II 1997. *Plano nacional de gerenciamento costeiro* Lei 7.661, de 16/05/88. MMA, Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80033/0.PNGC-II97%20Resolucao05_97.CIRM.pdf.

PSMSL, PERMANENT SERVICE FOR MEAN SEA LEVEL. Disponível em: <http://www.psmsl.org/>. Acesso em julho de 2017.

RAMESH, Rao, et. al. Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present and future, *Anthropocene* v.12, p.85-98. jan, 2015.

RASMUSSEN, Erik A. Vejret gennem 5000 AR Tempo através de 5000 anos. *Meteorologiens historie*, Aarhus Universitetsforlag, Århus, Dinamarca, p.367 jan, 2010.

REN, Guoyu Y. Urbanization as a major driver of urban climate change. *Advances in Climate Change Research* v.6, p.1-6. mai, 2015.

RIBEIRO, Wagner Costa. *Ordem Ambiental Internacional*. Contexto, São Paulo, p.180, 2008.

OLMOS, Silvia.; et al. Cambio Climático Global através del tiempo geológico. *Investigación universitaria multidisciplinaria* 10 v.10, p.14-122, dez, 2011.

ROAF, Sue; CRICHTON, David; NICOL, Fergus. *A adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas*. Bookman, Porto Alegre, 384 pp. 2009.

SALGADO-LABOURIAU, Maria Lea. *História Ecológica da Terra*. Edgar Blücher, São Paulo, 307 p. 1994.

SANTOS, Marcelo; et al. Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de Ciências Geodésicas* 21 v.4, p.691-705. out-dez, 2015.

SANTOS, Milton. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: Edusp, 4ª Ed, 388p. 2006.

SANTOS, Milton. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. Rio de Janeiro: Record, 22ª Ed, 176 p. 2012.

SANTOS, Milton. A questão do meio ambiente: desafios para a construção de uma perspectiva transdisciplinar. *GeoTextos* 1 v.1, p.139-151. 2005

SCHMIDT, Gavin; WOLFE, Joshua. *Climate Change: Picturing the Science*. W.W. Norton, USA/NASA, 350 pp. 2009.

SHAPIN, Steven; SCHAFFER, Simon. *Leviathan and the air-pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton University Press, Princeton/Oxford, 448 pp. 2011.

SMITH, Bruce D.; ZEDER, Melinda A. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene* v.4, p.8-13, set, 2013.

SOUZA, Celia Regina de Gouveia et. al. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, Celia Regina. et. al, (Orgs), Quaternário do Brasil, pp. 130-152, 2005.

SOUZA, Celia Regina. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 17-37. 2009.

SOUZA, Celia Regina. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 17-37. 2009.

STEFFEN, Wil; *et al.* The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions Royal Society* v.369, p. 842-867, mar, 2011.

STEININGER, Karl W.; *et al.* Consistent economic cross-sectoral climate change impact scenario analysis: Method and application to Austria. *Climate Services* v.1, p. 39-52. 2016.

SYVITSKI, James. *et al.* *Coastal Fluxes in the Anthropocene*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, p.39-95. 2005.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini; *et al.* Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel*, Porto Alegre, n. 4, p. 89-98. dez. 2006.

VIEIRA, Percy Corrêa. Variações do nível marinho: alterações Eustáticas no quaternário. *Rev. IG 2* v.1, p.39-58, jan-jun, 1981.

WALKER, Gabrielle, *An ocean of air. A natural history of the atmosphere*. Bloomsbury, London, 336 pp. 2007.

WENNEKER, Ivo; *et al.* Overview of 20 years of fieldmeasurements in the coastal zone and at the Petten sea dike in the Netherlands. *Coastal Engineering* v.109, p.96-113. 2016.

WILLIAMS, Margaret B.; *et al.* A 2000 year atmospheric history of methyl chloride from a South Pole ice core: Evidence for climate-controlled variability. *Geophysical Research Letters* v.34, p.1-5, mar, 2007.

WOODROFFE, Colin .D. *Critical thresholds and the vulnerability of Australian tropical coastal ecosystems to the impacts of climate change*. *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 464 – 468. Gold Coast, Australia, 2007.

WULF, Andrea. *A invenção da natureza: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt*. Planeta, São Paulo, 600 pp. 2016.

YAN, Zhong-Wei; *et al.* Review of recent studies of the climatic effects of urbanization in China. *Advances in Climate Change Research* 7 v.3, p.154-168, set, 2016.

YANG, Jian-Ping, *et al.* Vulnerability of mountain glaciers in China to climate change. *Advances in Climate Change Research* v. 6, p. 171-180. nov, 2015.

ZALASIEWICZ, Jan; *et al.* The, new world of the Anthropocene. *Environmental Science and Technology*. v.44, p.2228-2231, abr, 2010.

ZHOU, Daniel L.; *et al.* From global change to Future Earth in China. *Advances in Climate Change Research* v.6, p.92-100, 2015.

ANEXOS

APÊNCICE (A)**QUESTIONÁRIO PARA A POPULAÇÃO DOS SETORES CENSITÁRIOS**

Data: / / Setor Censitário: _____ Município: UF: Salinópolis/PA
 Entrevistador (a): _____
 Entrevistado (a): _____ Idade: _____
 Coordenadas geográficas (domicílio): _____

PERGUNTAS DE IDENTIFICAÇÃO PESSOAL

- 1- Quanto tempo reside nessa área?
 R= _____
- 2- Qual sua renda familiar?
 R= _____
- 3- Qual a profissão exerce e quanto tempo?
 R= _____

PERCEPÇÃO SOBRE VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

- 4- O senhor (a) tem percebido que o mar tem aumento seu nível? Ou seja, o mar tem alcançado áreas que antes não alcançava aqui em Salinas ou próximo?
 Sim Não
- 5- Se Sim, O senhor (a) tem percebido algum problema por causa desse aumento?
 Sim Não
- 6- Se Sim, Quais?
 Erosão Alagamentos Queda de árvores Marés altas demais Marés baixas demais Queda de ruas Queda de residência Queda de barrancos/falésias
 Outros: _____

DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR

- 7- O senhor (a) tem conhecimento que o nível do mar tem aumentado em todo mundo?
 Sim Não
- 8- Com o aumento do nível do mar, de que forma seu modo de vida poderá ser afetado?
 Não será afetado minhas atividades econômicas minha moradia
- 9- Quais atividades econômicas realizadas pelo senhor (a) que dependem da variação do nível do mar?
 Pesca Turismo Agricultura Comércio

SOBRE ADAPTAÇÃO LOCAL Á ELEVÇÃO DO NÍVEL DO MAR

10- O senhor (a) senhora participa de alguma atividade da prefeitura sobre os problemas causados pelo mar?

() Sim () Não

11- Quem deve participar das iniciativas/políticas de adaptação à elevação do nível do mar em Salinópolis?

- () Somente a comunidade afetada
 () Somente o Governo Federal, Estadual e Municipal
 () Somente o Município
 () Somente as Organizações Não Governamentais ONGs
 () Governo Federal, Estadual, Municipal e a população local

12- Estratégias de adaptação à elevação do nível do mar em Salinópolis. Quais destas estratégias o senhor (a) acredita que sejam as melhores para Salinópolis?

() Construir estruturas de concreto para impedir o impacto do mar próxima à orla da cidade	() Plantar mais árvores próximo à orla para evitar o impacto do mar
() Construir um sistema de esgoto mais eficiente	() Arborizar mais a cidade
() Impedir que o cidadão circule área que será atingida pelos impactos do nível do mar na cidade	() Preservar e criar corredores naturais de vegetação nativa interconectadas ou por setores.
	() Criação de ruas arborizadas, Ciclovias.
	() Criação de Cursos Superiores com ênfase na abordagem climática.
	() Promover nos órgãos públicos e particulares palestras de conscientização sobre os impactos do aumento do nível do mar na cidade

13- A Prefeitura tem feito alguma obra dessas citadas acima para se adaptar aos impactos da elevação do nível do mar em Salinópolis?

() Sim () Não

14- Se sim, Quais? _____

QUESTIONÁRIO PARA OS GOVERNANTES DO MUNICÍPIO

Entrevistador (a): _____
 Entrevistado (a): _____
 Secretaria/Órgão: _____ Município: UF: Salinópolis/PA
 Data: / /
 Coordenadas geográficas (domicílio): _____

SOBRE PERCEPÇÃO DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR

15- O senhor (a) tem percebido algum problema na cidade relacionada ao aumento do nível do mar?

() Sim () Não

16- Se sim, Quais?

() Erosão () Alagamentos () Queda de árvores () Marés altas demais ()
 Marés baixas demais () Queda de ruas () Queda de residência () Queda de
 barrancos/falésias () dificuldade para o pescador

() Outros: _____

17- Qual setor costeiro da cidade o senhor (a) tem observado ocorrerem os maiores problemas relacionados ao aumento do nível do mar?

DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR EM SALINÓPOLIS

18- O senhor (a) tem conhecimento que o nível do mar tem aumentado a nível global?

() Sim () Não

19- Existem casos em que a prefeitura interditou alguma área, onde? por que? onde? o que foi feito com a população?

() Sim () Não

20- A Prefeitura/Secretaria tem se envolvido em algum Programa Institucional relacionado aos impactos das mudanças climáticas em cidades costeiras? EXISTEM RECURSOS?

() Sim () Não

() Sim () Não

21- Qual Programa? _____

SOBRE ADAPTAÇÃO À ELEVAÇÃO DO MAR EM SALINÓPOLIS

22- A Prefeitura tem realizado alguma política de contenção dos impactos causados pela elevação do mar em Salinópolis?

() Sim () Não

Quais?

23- Quanto ao turismo, como adaptar as atividades relacionadas ao turismo em época de elevação de nível do mar? a gestão pública já pensou sobre isso?

24- Existe alguma política no Plano Diretor da Cidade relacionada à adaptação da população à elevação do nível do mar em Salinópolis?

() Sim () Não

25- Sabe descrever qual? _____

26- Quem deve participar das iniciativas/políticas de adaptação à elevação do nível do mar em Salinópolis?

() Somente a comunidade afetada

() Somente o Governo Federal, Estadual e Municipal

() Somente o Município

() Somente as Organizações Não Governamentais ONGs

() Governo Federal, Estadual, Municipal e a população local

27- Estratégias de adaptação à elevação do nível do mar em Salinópolis. Quais destas estratégias o senhor (a) acredita que sejam as melhores para Salinópolis?

() Construir estruturas de concreto para impedir o impacto do mar próxima à orla da cidade	() Plantar mais árvores próximo à orla para evitar o impacto do mar
() Construir um sistema de esgoto mais eficiente	() Arborizar mais a cidade
() Impedir que o cidadão circule área que será atingida pelos impactos do nível do mar na cidade	() Preservar e criar corredores naturais de vegetação nativa interconectadas ou por setores.
	() Criação de ruas arborizadas, Ciclovias.
	() Criação de Cursos Superiores com ênfase na abordagem climática.