



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE AMBIENTES RECIFAIS COSTEIROS DO
LITORAL DE PERNAMBUCO**

Recife

2020

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE AMBIENTES RECIFAIS COSTEIROS DO
LITORAL DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Slomp Esteves.

Coorientadora: Profa. Dra. Marinez Eymael Scherer.

Recife

2020

M386s	Martins, Karoline Angélica. Serviços ecossistêmicos de ambientes recifais costeiros do litoral de Pernambuco / Karoline Angélica Martins. - 2020. 123 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira. Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Slomp Esteves. Coorientadora: Profa. Dra. Marinez Eymael Garcia Scherer. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2020. Inclui Referências e anexos. 1. Oceanografia. 2. Serviços ambientais. 3. Valoração por serviços ecossistêmicos. 4. Bem-estar humano. 5. Proteção costeira. 6. Morfologia de praia. 7. Nordeste brasileiro. I. Pereira, Pedro de Souza (Orientador). II. Esteves, Luciana Slomp (Coorientadora). III. Scherer, Marinez Eymael Garcia (Coorientadora). IV. Título UFPE 551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2020-165
-------	--

KAROLINE ANGÉLICA MARTINS

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE AMBIENTES RECIFAIS COSTEIROS DO
LITORAL DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Oceanografia.

Aprovada em: 27 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio V. Ferreira (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. ^a Dr.^a Tereza Cristina Araújo (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. ^a Dr.^a Maria Fernanda A. Torres (Examinador Externo)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Milton Asmus (Examinador Externo)

Universidade Federal de Rio Grande

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Rafael, pelo carinho, pela parceria e pela ajuda desde a elaboração do projeto até a finalização da tese. Principalmente por entender e me apoiar em todas as dificuldades que surgiram ao longo desse trabalho.

À minha família por me dar apoio nas minhas decisões, por sentirem orgulho de mim em todas as minhas conquistas e por tentar entender a minha pesquisa.

Aos meus orientadores:

Marinez Scherer, muito obrigada por ter me acolhido na UFSC e me ajudado com ideias, apoio e suporte tantas vezes.

Luciana Esteves, obrigada por me receber na Bournemouth University, foi uma experiência maravilhosa.

Pedro de Souza Pereira, obrigada pela ajuda e pelo seu apoio logístico sempre.

Agradeço ao pessoal do LAGECI – UFSC, pelas reuniões e pelo convívio com vocês, isso foi imprescindível para o meu desenvolvimento, assim como as trilhas e churrascos.

Agradeço aos professores do Departamento de Oceanografia - UFPE, que contribuíram com o trabalho, especialmente a Tereza e o Antônio que estiveram presentes em todas as minhas bancas com ótimas ideias. Também agradeço ao professor Jon Williams pela colaboração na modelagem no XBeach.

Agradeço ao Anderson, Fernanda, Laura e Roberta pelo apoio emocional, por ouvir minhas lamúrias repetidas e me ajudar a rir disso tudo.

Ao CNPq pelos quatro anos de bolsa. E à CAPES pela bolsa do doutorado sanduíche através do projeto VALSA.

RESUMO

Serviços ecossistêmicos (SEs) são funções do meio ambiente que proporcionam o bem-estar humano. A presente tese visou identificar os SEs provenientes dos recifes de coral do estado de Pernambuco e quantificar o SE de proteção costeira, baseado em um estudo de caso no litoral de Ipojuca. Os SEs dos recifes de Ipojuca foram caracterizados através da aplicação de uma matriz de identificação que associa SEs com benefícios, beneficiários e estressores. Os dados foram obtidos através da bibliografia, entrevistas e uma oficina com gestores e pesquisadores da área de estudo. Depois de analisar os SEs existentes em Ipojuca o foco da pesquisa voltou-se para o detalhamento e quantificação de um SE: a proteção costeira. Este foi quantificado através da análise de perfis de praia, comparando um local protegido por recifes e um exposto às ondas incidentes. Outra quantificação do SE foi realizado através da valoração econômica, utilizando o método do custo evitado em relação à danos causados por erosão costeira e inundação. A caracterização permitiu concluir que existem 22 SEs oferecidos pelos recifes de Ipojuca. Os SEs mais relevantes para a região são a possibilidade de recreação e a proteção costeira sendo que o beneficiário mais dependente economicamente do recife são as agências de turismo. Um encontro com 12 gestores da zona costeira de Pernambuco mostrou que existe uma deficiência quanto à compreensão sobre o que são SEs e o que são benefícios extraídos dos SEs. A quantificação do SE de proteção costeira mostrou que a praia protegida por recifes é significativamente mais estável que a praia exposta. Simulações feitas em um modelo unidimensional indicaram que os recifes reduzem aproximadamente 50% da energia das ondas que atingem a costa. A área de recifes é de aproximadamente 5 km², e estes protegem uma área da cidade de Ipojuca de aproximadamente 20 km². O valor monetário calculado para o SE de proteção costeira é de 3,9 bi US\$/km²/ano. Mesmo com uma menor biodiversidade, se comparado com outros recifes do mundo, foi possível concluir que os recifes da região oferecem SEs semelhantes a outros recifes de coral do mundo, e a dissipação de energia de ondas sobre os recifes também é condizente com outros estudos. O conceito de SEs permite identificar a importância de conservar o ecossistema, além de destacar a interação entre os processos naturais dos ecossistemas e gerar subsídios para planos de gerenciamento costeiro.

Palavras-chave: Serviços ambientais. Valoração por serviços ecossistêmicos. Bem-estar humano. Proteção costeira. Morfologia de praia. Nordeste brasileiro.

ABSTRACT

Ecosystem services (ESs) are intrinsic functions of the environment that generate necessary benefits for human well-being. This thesis aimed to identify the ESs from the Pernambuco coastal reefs and estimate the importance of coastal protection service, based on a case study on Ipojuca's coast. The ESs of Ipojuca's reefs were characterized by applying an identification matrix that associates ESs with benefits, beneficiaries, and stressors. The data were obtained through bibliography, interviews and a workshop with managers and researchers in the study area. After analysing the existing ESs in Ipojuca, the focus of the research turned to the detailing and quantification of an ES: coastal protection. This was quantified through the analysis of beach profiles, comparing a place protected by reefs and one exposed to incident waves. Another quantification of the ES was carried out through economic valuation, using the avoided cost method in relation to a possible damage caused by coastal erosion and flooding. The characterization allowed us to conclude that there are 22 ESs offered by the Ipojuca's reefs. The most relevant ESs for the region are the possibility of recreation and coastal protection, with the most economically dependent beneficiary of the reef being the tourism agencies. A meeting with 12 managers from the coastal zone of Pernambuco showed that there is a deficiency in the understanding of what ESs are and what benefits are derived from them. The quantification of the coastal protection showed that the beach protected by reefs is significantly more stable than the exposed beach. Simulations carried out in a one-dimensional model indicated that the reefs reduce approximately 50% of waves energy reaching the coast. The reef area is around 5 km², and it protects nearly 20 km² of the city of Ipojuca. The monetary value calculated for the coastal protection is 3.9 billion US\$/km²/year. Even with less biodiversity, compared to other reefs in the world, it was possible to conclude that the reefs in the region offer ESs similar to other coral reefs in the world, and the dissipation of wave energy over the reefs is also consistent with other studies. The concept of ESs identifies the importance of conserving the ecosystem, in addition to highlighting the interaction between the natural processes of ecosystems and generating subsidies for coastal management plans.

Keywords: Coastal protection. Environmental services. Ecosystem services value. Human welfare. Beach morphology. Brazilian Northeast.

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1. Mapa de localização do município de Ipojuca, PE - Brasil.-----	19
Figura 2. Vista aérea dos recifes de 1- Enseadinha, 2- Porto de Galinhas, 3-Serrambi e 4-Suape, PE - Brasil.-----	20
Figura 3. Esquema da metodologia aplicada neste trabalho. -----	21
Figura 4. Produção científica anual das publicações entre 2003 e 2019 analisadas neste trabalho. -----	26
Figura 5. Número de publicações dos países com maior produção no período analisado. ----	26
Figura 6. Distribuição espacial dos serviços e atividades identificados pelos participantes da oficina.-----	29
Figura 7. Matriz dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos recifes Ipojuca, Pernambuco considerados de alta importância pelos pesquisadores e gestores que responderam os questionários. -----	33
Figura 8. Relação entre estressores e beneficiários do serviço de proteção costeira, de acordo com os entrevistados.-----	35

Artigo 2

Figure 1. Location of Pontal do Cupe beach. The satellite image (Google Earth 2010) shows the reef flat exposed at low tide. The lines on the beach show the position of beach profile measurements. -----	44
Figure 2. Local bathymetry, at Cupe Beach, Brazil. -----	47
Figure 3. Bathymetric profiles used in XBeach, where the black line represents the reef-fronted beach and the red line a reef less beach; the dots indicate the cross-shore positions of data extraction. -----	48
Figure 4. Beach profile sketch widths and volumes related to the three water levels (indicated by the shaded area). -----	49
Figure 5. Bathymetric profile, from Cupe Beach, used as input in XBeach, with nearshore reef, and an example of the instantaneous water level result. -----	50
Figure 6. Wave conditions without the nearshore reef (continuous line) and with the nearshore reef (dashed line), showing the maximum wave height elevation along the cross-shore transect. -----	51

Figure 7. Groups of profiles from PCA analysis. The left figure shows the location of the profile groups; the right figure shows a representative measurement of the morphology group. -----	53
Figure 8. (a) Wave energy scatterplot chart from WWIII full data (points) and highest quartile median offshore wave energy (line); (b) Mean profile volume above MLWL for profile groups 1 and 2; (c) Mean profile volume above MLWL for profile groups 3 and 4; (d) Mean profile volume above MLWL for profile groups 5,6 and 7. --	56

Artigo 3

Figura 1. Vista aérea dos recifes de Serrambi em Ipojuca, PE - Brasil.-----	66
Figura 2. Localização da área de estudo em Ipojuca, PE - Brasil. -----	67
Figura 3. Métodos para valoração de serviços ecossistêmicos. -----	69
Figura 4. Foto, acima, dos recifes de Maracaípe dissipando energia das ondas e, abaixo, do Rio Maracaípe desaguando no mar, margeado por manguezais e áreas alagadas. -	76
Figura 5. Cotas altimétricas da topografia na área protegida pelos recifes em Ipojuca, PE - Brasil. -----	77
Figura 6. Área coberta por recifes de baixa profundidade no litoral de Ipojuca, PE - Brasil.	79
Figura 7. Setores do litoral de Ipojuca, PE com diferentes preços de venda de imóveis. ----	81

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1. Matriz utilizada para identificar os serviços ecossistêmicos de recifes de coral costeiros.-----	25
Tabela 2. Serviços ecossistêmicos exercidos por recifes ao redor do mundo. -----	27
Tabela 3. Serviços ecossistêmicos correspondentes no CICES com os SEs citados na oficina pelos gestores.-----	30
Tabela 4. Impactos ambientais que afetam os serviços ecossistêmicos dos recifes costeiros de Ipojuca, PE.-----	37

Artigo 2

Table 1. First four principal components and percentage of variance explained. -----	51
Table 2. Beach profile volumes in the lower (between MLWL and MWL), intermediate (between MWL and MHWL) and upper (above MHWL) beach. -----	54
Table 3. Beach profile volumes of an exposed and a protected beach in a high wave energy period. -----	57

Artigo 3

Tabela 1. Classificação do valor econômico do recurso ambiental. -----	65
Tabela 2. Preço médio mensal do dólar em 2018.-----	73
Tabela 3. Serviços ecossistêmicos disponíveis nos recifes de Ipojuca, PE - Brasil. -----	74
Tabela 4. Índice de Velocidade de Vendas (IVV) e preço médio do m ² em Ipojuca – Muro Alto, PE - Brasil.-----	82
Tabela 5. Variáveis utilizadas na valoração do SE de proteção costeira em Ipojuca, PE - Brasil.-----	83
Tabela 6. Valor dos recifes de Ipojuca, PE considerando apenas o SE de proteção costeira.-	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	ESTRUTURA DA TESE.....	15
2	CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE UM RECIFE TROPICAL	16
3	THE ROLE OF CORAL REEFS IN COASTAL PROTECTION - ANALYSIS OF BEACH MORPHOLOGY	43
4	VALOR ECONÔMICO DA PROTEÇÃO COSTEIRA.....	63
5	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS.....	94
	ANEXO A - SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EXERCIDOS POR RECIFES .	105
	ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.....	109
	ANEXO C – SUMÁRIO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	116

1 INTRODUÇÃO

Os serviços ecossistêmicos (SEs) provêm benefícios para o bem-estar humano através da interação entre diversas funções dos ecossistemas (Costanza *et al.*, 1997). A manutenção da qualidade do ar e da água, provisão de alimentos, de áreas de valor cultural e de recreação são alguns exemplos de SEs (Elliff e Kikuchi, 2015). Os inúmeros usos antrópicos da zona costeira, muitas vezes sem o planejamento adequado, degradam e desestabilizam a dinâmica natural do ambiente, comprometendo a capacidade do ecossistema em prover os serviços ecossistêmicos necessários para a manutenção dos ambientes (Halpern *et al.*, 2008; Waycott *et al.*, 2009; Barragán, 2014). Equilibrar a natureza e o bem-estar humano é uma tarefa bastante complexa. O método dos SEs facilita a compreensão da conexão entre os sistemas ambientais e seus benefícios para a população humana, e com isso pode levar a decisões mais assertivas em planos de gerenciamento ambiental (Scherer e Asmus, 2016).

Na literatura existem diversas definições de serviços ecossistêmicos. Todas, no entanto, centram-se na ideia de utilidade proporcionada pelos ecossistemas aos seres humanos. De acordo com Daily (1997), os serviços ecossistemas são definidos como as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que fazem parte deste, sustentam e satisfazem a vida humana.

Costanza *et al.* (1997) explicam o conceito de funções ecossistêmicas. Para os autores, os recursos e os serviços ecossistêmicos são os benefícios obtidos pela sociedade através das funções ecossistêmicas, que, por sua vez, seriam as propriedades e os processos dos ecossistemas. Partindo dessa definição diversos autores referem-se aos serviços ecossistêmicos como os benefícios diretos e indiretos que a sociedade pode obter dos ecossistemas na forma de funções ecossistêmicas (Groot, Wilson e Boumans, 2002; Daly e Farley, 2003).

No presente estudo foi utilizada a definição de funções, serviços e benefícios ecossistêmicos com base na metodologia proposta por Haines-Young e Potschin (2010), que definem serviços ecossistêmicos da seguinte maneira:

- a) Serviços de Provisão: produtos obtidos dos ecossistemas, tais como alimentos e fibras, combustíveis naturais como lenha, madeira, recursos genéticos, medicamentos naturais, recursos ornamentais e água;

- b) Serviços de Regulação: benefícios obtidos pela regulação produzida por processos ecossistêmicos, como, por exemplo, manutenção da qualidade da água, regulação climática, controle da erosão, tratamento de resíduos, polinização, controle biológico, dentre outros.
- c) Serviços Culturais: benefícios não materiais que as pessoas obtêm dos ecossistemas por meio do enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo, reflexão, recreação e valores estéticos, incluindo a diversidade cultural, os valores religiosos e espirituais, os conhecimentos tradicionais e formais, as normas sociais, dentre outros.

Ou seja, as funções ecossistêmicas são a tradução da complexidade ecológica em um conjunto de funções com a capacidade de gerar benefícios à sociedade. Já os serviços são o subconjunto de funções que diretamente geram benefícios aos seres humanos (Gomez-Baggethun e Groot, 2010). Dessa forma, as funções ecossistêmicas, quando utilizadas para promover o bem estar humano, são chamadas de serviços ecossistêmicos (Daly e Farley, 2003; Kumar, 2010).

Recifes são a base de um ecossistema rico em biodiversidade, sendo que os principais bens e serviços associados a eles são a proteção costeira contra a ação das ondas, berçário para espécies marinhas, habitat de espécies de interesse comercial para a alimentação e uso ornamental, uso recreativo e turístico e, potencial fonte de compostos medicinais (Moberg e Folke, 1999a; Liqueste *et al.*, 2013; Barbier, 2017).

Estima-se que os serviços ecossistêmicos oferecidos por recifes de corais no mundo equivalem anualmente a aproximadamente US\$ 800 bilhões (Cesar, Burke e Pet-soede, 2003). Dentre os SEs que mais contribuem para esse valor estão a possibilidade de uso para a recreação e a proteção costeira e a atividade pesqueira (Grabowski *et al.*, 2012; Groot, de *et al.*, 2012). Estima-se que o dano causado por inundações no mundo seria duas vezes maior num cenário com erosão de 1 m na altura dos recifes, passando para um dano de aproximadamente US\$ 272 bilhões nos próximos 100 anos (Beck *et al.*, 2018).

Em decorrência da proteção costeira, os recifes oferecem uma série de benefícios associados aos ambientes mais calmos, como a pesca e a recreação (Arkema *et al.*, 2015). Compreender e quantificar esse conjunto de SEs, nem sempre de fácil identificação, é importante para fortalecer e melhorar a qualidade dos planos de gerenciamento costeiro (Scherer e Asmus, 2016). Essas análises devem ser simples, acessíveis e relevantes a todos os

níveis de tomadores de decisão.

Os planos de gestão da zona costeira podem levar em consideração também os processos físicos que ocorrem no ambiente e determinam as características do ecossistema, como por exemplo a velocidade de ventos locais, altura das ondas que atingem a costa e amplitude de maré. A degradação de um ambiente recifal pode alterar as condições hidrodinâmicas do ambiente e resultar, por exemplo, na desestabilização da linha de costa adjacente a esses recifes, uma vez que os danos nos recifes geram perda na provisão do serviço de proteção costeira (Prasetya, 2006; Martins *et al.*, 2019).

A hipótese defendida nesta tese de doutorado foi que os SEs oferecidos pelos recifes do litoral de Pernambuco não são compreendidos e reconhecidos pela sociedade e nem pelos gestores. A falta de conhecimento sobre os SEs e sobre sua importância para a sociedade pode resultar em uma gestão ineficiente dos recursos naturais.

A identificação dos SEs fundamenta a gestão baseada em ecossistemas, que abrange as interações de um ecossistema como um todo, ao contrário do método tradicional que aborda situações, espécies ou serviços de maneira isolada. Essa é uma metodologia que vem ganhando espaço no gerenciamento costeiro do mundo, e a caracterização e quantificação dos serviços ecossistêmicos é fundamental para a elaboração e aplicação de uma gestão baseada em ecossistemas.

Um dos principais desafios da gestão baseada em ecossistemas é entender a interdependência que existe entre os diferentes serviços de um ecossistema (Katsanevakis *et al.*, 2011). Embora estas relações sejam fundamentais para o equilíbrio do ambiente, elas geralmente são pouco reconhecidas em políticas e projetos de proteção ambiental, que muitas vezes se concentram em SEs tangíveis, como, por exemplo, a manutenção da beleza cênica de uma paisagem (Daw *et al.*, 2015). Esse foco seletivo pode fazer com que alguns SEs, menos evidentes, sejam negligenciados (Halpern *et al.*, 2008), o que, com o tempo, provoca perdas para o ambiente e, em alguns casos, até mesmo prejuízos na provisão do SE inicialmente focado pela política.

A importância de se estudar a percepção que as pessoas têm dos benefícios gerados pelos recifes se fundamenta no consequente esforço que os usuários empregariam para manter tal ecossistema saudável. Os planos de gestão devem buscar o melhor ajuste entre o aproveitamento dos recursos e a proteção do ambiente, sem que se comprometa a biodiversidade, o equilíbrio natural e a capacidade de resiliência dos ecossistemas explorados

(Butler *et al.*, 2013). Uma forma de apresentar as informações sobre os serviços ecossistêmicos é através da valoração econômica, que pode dar suporte a programas de conservação e restauração ambiental, de adaptação às mudanças climáticas e de ressarcimento por serviços ambientais. Nesse contexto, valorar implica em dar subsídios às tomadas de decisões, em escala local a global (Fisher, Bateman e Turner, 2011).

1.1 OBJETIVOS

Com base nesta justificativa, o presente estudo visou identificar os serviços ecossistêmicos existentes nos recifes costeiros de Ipojuca, Pernambuco e estimar a importância do serviço ecossistêmico de proteção costeira, a fim de gerar subsídios para tomadas de decisão sobre o manejo de recursos e ordenamento do espaço marinho. A área de estudo abrangeu os recifes localizados em frente ao município de Ipojuca, localizada no litoral sul do estado de Pernambuco, que é um ambiente que apresenta potencial uso para o refúgio da fauna, para a pesca artesanal e para turismo ecológico e científico.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta tese foi avaliar os serviços ecossistêmicos exercidos pelos recifes costeiros do litoral do município de Ipojuca, com ênfase no serviço de proteção costeira.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Descrever os serviços ecossistêmicos (SEs) oferecidos pelos recifes de coral em Ipojuca, Pernambuco quanto à relevância para a comunidade que se beneficia dos SEs de forma direta ou indireta.
- b) Avaliar o serviço ecossistêmico de proteção costeira fornecido pelos recifes de Ipojuca na praia do Cupe, comparando a variabilidade temporal e espacial dos perfis de praia nas áreas em frente ao recife e adjacente ao mesmo.
- c) Atribuir um valor econômico para o serviço ecossistêmico de proteção costeira exercido pelos recifes de Ipojuca.

1.2 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese foi estruturada em três capítulos principais, com a ideia de apresentar serviços ecossistêmicos de recifes e maneiras de quantificá-los. Os capítulos são complementares, mas podem ser lidos isoladamente, pois cada um foi estruturado no formato de artigos completos, com uma breve descrição da problemática a ser tratada, métodos, resultados e conclusões.

O primeiro capítulo descreve os serviços ecossistêmicos oferecidos por recifes, os atores que se beneficiam de tais serviços e os principais estressores que podem causar impactos na provisão ou qualidade dos serviços.

Um desses serviços é a proteção costeira, considerada de alta importância na região de estudo. A proteção costeira se dá através da atenuação das ondas sobre os recifes, pelo aprisionamento de sedimentos próximos à costa e consequente acréscimo na largura da praia e redução da erosão. A presença dos recifes em frente ao litoral gera saliências na costa, que são resultado da deposição de sedimentos na praia em decorrência da difração e refração das ondas que atingem a costa.

Em seguida, o segundo capítulo apresenta um método de quantificação do serviço de proteção costeira através da análise de perfis de praia, comparando uma praia protegida por recifes e uma praia exposta às ondas incidentes. Essa análise foi baseada no comportamento morfológico das duas praias e na movimentação de sedimentos entre elas ao longo de um período de dois anos.

Para finalizar, o terceiro capítulo mostra a quantificação do serviço de proteção costeira através da valoração econômica. A proteção costeira é um serviço de uso indireto que pode ser valorado através do custo evitado de danos com erosão costeira, inundação e perda de território emerso. Esse método estima o máximo valor monetário que justificaria um investimento para evitar que o prejuízo econômico ocorresse ou que suas consequências pudessem afetar o bem-estar humano.

2 CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE UM RECIFE TROPICAL

2.1 INTRODUÇÃO

O termo ecossistema representa as interações dinâmicas entre os seres vivos e não vivos em seus ambientes físicos e biológicos, dos quais o homem faz parte. Os serviços ecossistêmicos (SEs), oriundos das funções ecossistêmicas, são os benefícios que a natureza provém para as pessoas. Esse termo tem ganhado crescente visibilidade porque transmite de maneira mais evidente a importância dos ecossistemas para o bem-estar humano (Daly e Farley, 2003).

Nos últimos 50 anos houve perdas de habitat e, consequentemente, de biodiversidade terrestre e marinha, decorrentes das modificações causadas pelas atividades humanas. A degradação ambiental pode levar a alteração na provisão de SEs, e consequentemente, prejuízos econômicos, de saúde da população e no bem-estar. Essa situação gerou uma demanda de informações sobre os ecossistemas e benefícios que eles provêm, intensificando os estudos que visam compreender melhor os serviços ecossistêmicos (SEs) e sua relação com a sociedade (MEA, 2005).

Todos os processos biológicos, físicos e geológicos dos ecossistemas contribuem para os serviços ecossistêmicos. Processos ou funções do ecossistema descrevem relações biofísicas que existem independentemente dos benefícios que os seres humanos podem obter. Em contraste, os serviços ecossistêmicos são aqueles processos e funções que beneficiam as pessoas, direta ou indiretamente (Braat, 2013). Portanto, serviços ecossistêmicos só existem se contribuem para o bem-estar humano (Elliff e Kikuchi, 2015).

Na costa brasileira ocorrem diversos tipos de ecossistemas, como praias, estuários, lagoas costeiras, marismas e manguezais, costões rochosos, recifes de coral, bancos de algas calcárias, dunas e restingas (Freire, Zamboni e Miguens, 2004). A interação entre os ecossistemas costeiros condiciona a existência dos SEs; essa interação pode ser vista, por exemplo, na ação de amortecimento de tempestades costeiras, quando a energia das ondas é parcialmente dissipada sincronicamente pelos recifes, praias e dunas costeiras (Prasetya, 2006).

Os benefícios que os recifes de coral oferecem através dos serviços de abastecimento, regulação e culturais são fundamentais para o bem-estar humano (Albert *et al.*, 2015). Os

principais bens e serviços associados aos recifes de coral são a proteção do litoral contra a ação das ondas, berçário para espécies marinhas, habitat de espécies de interesse comercial para a alimentação e para o mercado de espécies ornamentais, uso recreativo e turístico e, potencialmente, fonte de compostos medicinais (Moberg e Folke, 1999), gerando uma contribuição estimada em US\$ 30 bilhões anuais para a economia global (Cesar, Burke e Petsoede, 2003).

Na costa de Pernambuco, localizado no Nordeste brasileiro, os recifes de coral são fundamentais para a economia local através do uso dos seus SEs. No entanto, esses usos não foram, até então, adequadamente associados aos SEs. No municíio de Ipojuca estão localizadas as praias de Muro alto, Cupe, Porto de Galinhas, Maracaípe e Serrambi. Essa porção do litoral contribui significativamente para a economia do Estado, recebe milhares de turistas do mundo inteiro, principalmente nos períodos mais quentes do ano, atraídos pelas atividades de mergulho, snorkel e caminhadas (Santos e Cândido, 2018).

Este capítulo irá descrever os serviços ecossistêmicos identificados nos recifes de Pernambuco, tomando como unidade amostral o litoral do município de Ipojuca, bem como os atores que se beneficiam de tais serviços e as principais ações que podem causar impactos na provisão ou qualidade dos serviços.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo geral

Descrever os serviços ecossistêmicos (SEs) oferecidos pelos recifes de coral em Ipojuca, Pernambuco quanto à relevância para a comunidade que se beneficia dos SEs de forma direta ou indireta.

2.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os SEs relacionados aos recifes de coral na praia de Ipojuca e na região marinha adjacente;
- Identificar os benefícios e beneficiários destes SEs;
- Identificar as pressões que afetam os SEs;
- Avaliar a situação atual dos SEs da área de estudo;

2.3 ÁREA DE ESTUDO

O Brasil possui os únicos recifes coralíneos do Atlântico Sul. Grandes comunidades coralíneas foram registradas desde o Parcel de Manuel Luís, MA (cerca de 01°S) até os recifes de Viçosa, na área de Abrolhos (cerca de 18°S), além de em ilhas oceânicas como Atol das Rocas e Fernando de Noronha. Algumas comunidades recifais significativas também foram observadas para o sul estendendo-se até o Cabo Frio, RJ (Ferreira e Maida, 2006).

Muitos desses recifes coralíneos usam como substrato para fixação os recifes de arenito (*beachrocks*), que são rochas sedimentares formadas por areia e cimento de carbonato de cálcio, podendo alcançar vários quilômetros de extensão (Ribeiro *et al.*, 2008; Vasconcelos *et al.*, 2013). Na costa de Pernambuco e boa parte do litoral do Nordeste brasileiro, os recifes de arenito são considerados como o principal substrato consolidado para a fixação das algas calcárias e corais.

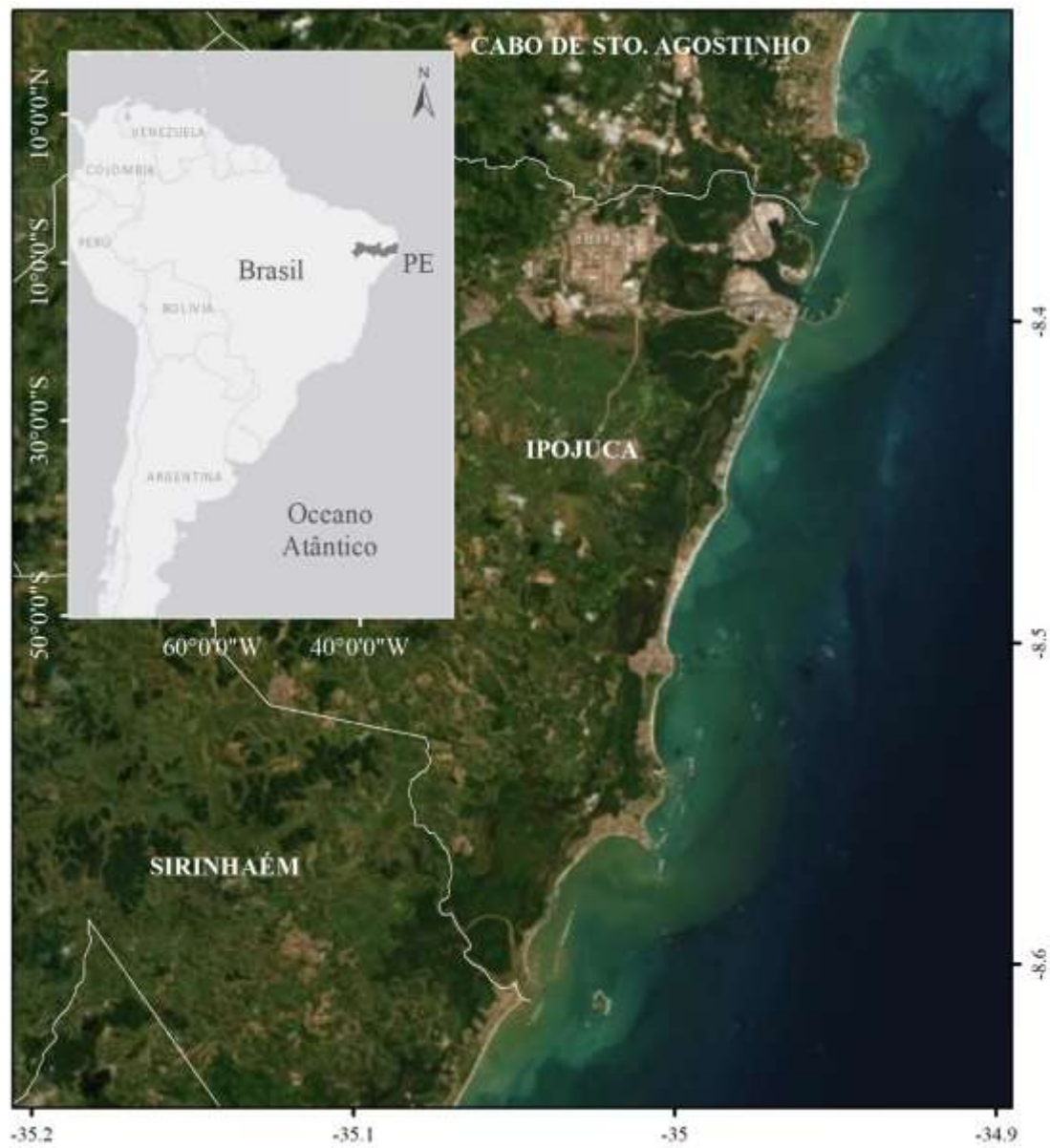
Os critérios para a seleção da área para a identificação e avaliação dos serviços ecossistêmicos foram:

- uma estreita ligação econômica e cultural da sociedade com a presença do recife;
- existência de dados sobre as características físicas do ambiente local;
- condições similares a outras praias de Pernambuco possibilitando transferir a aplicação dos resultados.

Com base nos critérios acima, a área de estudo escolhida para identificar os serviços ecossistêmicos dos recifes foi o litoral de Ipojuca, localizado no litoral sul de Pernambuco a 70 km da capital Recife (Figura 1). Os recifes de Ipojuca oferecem refúgio para a fauna marinha, oportunidades para a pesca artesanal, turismo ecológico, recreação e estudos científicos (CPRH, 2001).

Os recifes dessa região são associados a bancos de arenito geralmente paralelos à costa (Dominguez *et al.*, 1990), possuindo frequentemente uma camada superficial formada por corais, algas calcárias e moluscos vermetídios (Ferreira e Maida, 2006). Na baixa-mar, principalmente nos períodos de maré de sizígia, o topo das estruturas recifais fica exposto, abrigando massas de águas que formam piscinas e canais naturais (Figura 2).

Figura 1. Mapa de localização do município de Ipojuca, PE - Brasil.



Fonte: mapa: a autora, imagem de satélite: GeoEye IKONOS¹.

¹ Obtida em: ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Figura 2. Vista aérea dos recifes de 1- Enseadinha, 2- Porto de Galinhas, 3-Serrambi e 4- Suape, PE - Brasil.



Fonte: Fotos 1,3 e 4 - Arquivo SEMAS, 2016; foto 2 - Roberto Barcelos, 2015.

O turismo na região intensificou-se a partir da década de 1970, gerando uma sobrecarga na infraestrutura socioeconômica e ambiental da região (Sarmiento e Santos, 2012). No verão, entre os meses de novembro e março, os índices de ocupação são superiores às demais praias do estado, chegando a receber, em 2018, 1,2 milhão de turistas (Santos, 2018). Além do turismo, outra importante atividade do ponto de vista socioeconômico e cultural é a pesca artesanal, atividade expressiva em todo o litoral de Pernambuco, inclusive no município de Ipojuca (Moura, 2010).

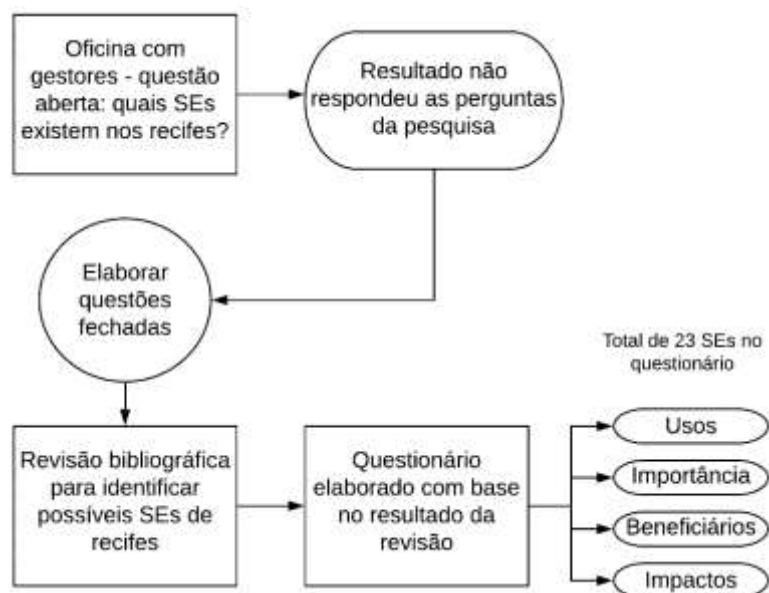
2.4 MÉTODO

Considerando uma abordagem de manejo integrado, a identificação dos SEs é uma etapa crítica que influencia diretamente a possibilidade de aplicação de gestão baseada em ecossistemas. A identificação e seleção de SEs foi realizada em três fases, através de dados da literatura e o conhecimento de especialistas, utilizando-se técnicas de identificação participativa (Martínez-Sastre *et al.*, 2017; Boeraeve *et al.*, 2018).

A primeira fase de caracterização dos SEs foi por meio de uma oficina realizada com a participação de gestores e pesquisadores. A segunda fase constituiu-se da análise da literatura. Já a terceira fase foi realizada através de um questionário, composto de perguntas fechadas,

respondido por gestores e pesquisadores. A metodologia do trabalho está resumida no esquema da Figura 3:

Figura 3. Esquema da metodologia aplicada neste trabalho.



Fonte: a autora.

2.4.1 Oficina com gestores

A primeira fase de identificação envolveu a realização de uma oficina, no ano 2016 em Ipojuca, com um grupo de gestores municipais atuantes na zona costeira de Pernambuco. Durante uma reunião, proposta como parte do projeto “Valoração de Serviços Ambientais Aplicados à Vulnerabilidade Costeira (VALSA)”, foi realizada uma dinâmica sobre SEs de Porto de Galinhas. Essa reunião contou com a participação de onze gestores e quatro pesquisadores.

Inicialmente foi apresentado uma palestra sobre o tema, a fim de nivelar o conhecimento dos participantes. Após a apresentação foram formados três grupos, cada um composto por quatro gestores e um guia (pesquisador) para coordenar a discussão.

Cada grupo recebeu um mapa da praia e do recife de Porto de Galinhas e um quadro para ser preenchido com os SEs de cada ambiente: praia, recifes e marinho adjacente. No quadro, os gestores foram instruídos a citar os serviços identificados pelo grupo e presumir a importância relativa destes para a comunidade local, de acordo com as categorias: alto, médio

ou baixo. No mapa, o grupo deveria marcar os locais específicos da ocorrência de tais serviços.

As repostas dos três grupos foram digitalizadas em planilhas e polígonos de área com a localização dos serviços. A interpretação dos resultados foi realizada através de uma análise qualitativa das respostas. Para integrar o nível de importância atribuído por cada grupo foi calculada a média ponderada entre as respostas, através da atribuição de valores para cada categoria, sendo: Alto=3, Médio=2, Baixo=1.

A caracterização dos serviços irá seguir a relação de SEs descritos no banco de dados CICES - *The Common International Classification of Ecosystem Services*, que é uma classificação internacional padronizada de SEs (Haines-Young e Potschin, 2018). A ideia da CICES é facilitar a comparação de dados de caracterização e valoração de SEs, quando se é necessária a padronização na maneira como são descritos os serviços do ecossistema. Alguns pesquisadores tratam as funções de base dos ecossistemas como sendo serviços de suporte, como descrito no relatório do *Millennium Assessment*, por exemplo (MEA, 2003). Entretanto, na metodologia aplicada neste estudo, tais serviços são considerados funções ecossistêmicas e não SEs, portanto não serão abordados.

2.4.2 Revisão da literatura

Parte da metodologia aplicada para caracterizar os SEs existentes na área de estudo, foi através da aplicação de um questionário com especialistas. Para embasar a elaboração do questionário, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos científicos, em inglês, publicados em periódicos indexados sobre os SEs de recifes já descritos na literatura. A busca dos artigos foi realizada no banco de dados bibliográficos on-line *Scopus*², usando a seguinte pesquisa:

“(TITLE ("ecosystem service\$") OR TITLE (good\$ OR benefit\$)) AND TITLE-ABS-KEY ("ecosystem service\$" AND reef\$) AND TITLE-ABS-KEY (value OR coral\$ OR function\$ OR coastal OR marine OR management)”.

Essa busca seleciona inicialmente as publicações que contenham no título as palavras “*serviço(s) ecossistêmico(s)*” e as que contenham as palavras “*bens ou benefícios*”. A partir dessa primeira seleção é gerado um subgrupo contendo, no título, resumo ou palavras-chaves,

² Disponível em <https://www.scopus.com>

as palavras “*serviço(s) ecossistêmico(s) e recife(s)*” e, também as palavras “*valor ou coral/corais ou função/funções ou costeiro ou marinho ou manejo*”. Foram testados outros conjuntos de palavra, entretanto com a busca descrita acima os resultados obtidos descreveram mais diretamente o objetivo da pesquisa.

Os dados foram descarregados em formato **.bib* para serem analisado pelo pacote do *R Bibliometrix* (Aria e Cuccurullo, 2017). Este pacote usa os metadados das citações para calcular e classificar as produções por país, periódicos, associações de diferentes países e autores, e recorrência de palavras chaves. Da análise bibliométrica realizada com o *Bibliometrix*, foram utilizados os resultados de número de citações de cada artigo, local onde os estudos foram desenvolvidos e produtividade por ano.

Através do número de citações foram selecionados os 50 artigos mais citados para identificar SEs descritos para recifes. Esses 50 artigos foram lidos na íntegra, sendo extraídas as informações sobre quais ecossistemas foram tratados no artigo, quais foram os SEs descritos para recifes e se foi atribuído a estes SEs uma valoração monetária (ANEXO 1).

A partir desse resultado, os serviços descritos em pelo menos 10 dos artigos, 20% do total de artigos revisados, foram selecionados para integrar o questionário a ser aplicado nos especialistas da área de estudo. Essa seleção dos SEs mais citados nos artigos foi feita para priorizar os SEs que seriam os mais prováveis de existir na área de estudo, tornando o questionário mais objetivo e curto.

2.4.3 Questionário para identificação SEs locais

A partir da síntese dos possíveis serviços encontrados na região foi elaborado um questionário para entrevistar profissionais com conhecimento sobre os recifes da área de estudo. O questionário foi elaborado de maneira semiestruturada com perguntas fechadas (ANEXO). Para tornar o questionário mais simples e rápido de ser aplicado alguns SEs descritos na literatura foram agrupados em uma única pergunta. A combinação de SEs no questionário se deu pela semelhança entre alguns SEs, por exemplo os SEs de “Dispersão de gametas, especialmente de espécies que requerem um ambiente hidrodinâmico calmo”; “Dispersão de espécies continentais, como árvores de mangue”; e “Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida de algumas espécies (ou de toda a vida)”; no questionário foi perguntado com a definição de SE: “Dispersão de gametas e habitat de

desenvolvimento das primeiras fases da vida” seguido da pergunta sobre quais grupos de organismos estão envolvidos com tal SE.

A amostragem dos pesquisadores foi baseada no método não probabilístico que utiliza cadeias de referência, também chamado de bola de neve (Handcock e Gile, 2011). Um pesquisador inicial foi contatado para responder o questionário, e este ao final da entrevista indicou outros profissionais com conhecimento sobre o assunto. A seleção dos profissionais indicados se deu com base na sua área de atuação profissional, buscando especialistas com experiência em relação ao tópico de interesse – recifes de corais de Ipojuca. Essa definição de especialistas incluiu profissionais como pesquisadores, gestores de meio ambiente, bem como membros experientes da comunidade local (Fazey *et al.*, 2006). A seleção dos participantes foi decidida buscando pessoas que poderiam contribuir para compreensão do uso atual e potencial do conhecimento dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos recifes da área de estudo.

A aplicação do questionário permite certificar-se da existência dos SEs na área de estudo previamente identificados na literatura e na oficina. Permite, também, identificar algumas características de cada SE como: os benefícios gerados por tais serviços, os atores beneficiários, além de possíveis impactos ambientais que acarretam um declínio ou alteração da provisão de cada serviço ecossistêmico quando submetido a um impacto ambiental.

Tomando como exemplo o estoque pesqueiro, as perguntas do questionário foram:

- Com relação à disponibilidade do SE na região: existem peixes no ambiente?
- Com relação aos usos do SE: os peixes do ambiente são pescados para alimentação, de forma artesanal ou industrial? Para uso como ornamental?
- Com relação à importância do uso do SE para os atores: a pesca artesanal no ambiente tem importância alta, média ou baixa para a comunidade?
- Com relação aos atores: quem se beneficia do SE estoque pesqueiro, o pescador artesanal, o turista que pratica pesca esportiva, os aquaristas?
- Com relação aos impactos ambientais que afetam o SE: pergunta aberta que permite que o entrevistado liste os impactos ou estressores ambientais que existem no local e podem afetar a provisão do SE.

A entrevista foi feita presencialmente de forma individual, seguindo o roteiro apresentado no ANEXO . No total quatro gestores ambientais e quatro pesquisadores responderam o questionário. O resultado das entrevistas foi organizado em uma planilha

contabilizando as respostas de cada participante. Devido à especificidade do assunto, a comunidade envolvida com questões de gestão ambiental ou pesquisas voltadas para a área de recifes de coral na região de Ipojuca é restrita. Por esse motivo, a amostra composta por oito entrevistados foi considerada suficiente para o objetivo deste trabalho.

2.4.4 Caracterização dos SEs

Os SEs ocorrentes na área de estudo foram dispostos em uma matriz de SEs, seus usos e benefícios, impactos ambientais e os atores envolvidos (Tabela 1). A metodologia de caracterização dos serviços foi baseada na proposta de Scherer e Asmus (2016), que propõe uma matriz para identificar os riscos de se perder os SEs existentes, avalia-los com base nas percepções sociais, identificar oportunidades de gestão e integrar essa informação ecossistêmica em políticas públicas de gestão costeira.

Tabela 1. Matriz utilizada para identificar os serviços ecossistêmicos de recifes de coral costeiros.

Ecosistema	Classificação	Serviços	Benefícios	Beneficiários	Estressores ambientais	Impactos no serviço
Recifes de coral	Provisão					
	Regulação					
	Cultural					

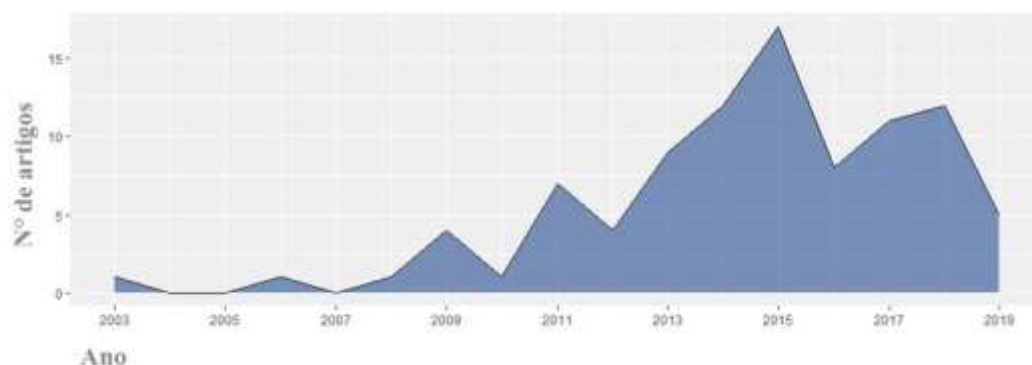
Fonte: adaptado de (Scherer e Asmus, 2016).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Revisão da literatura e questionário para identificação SEs locais

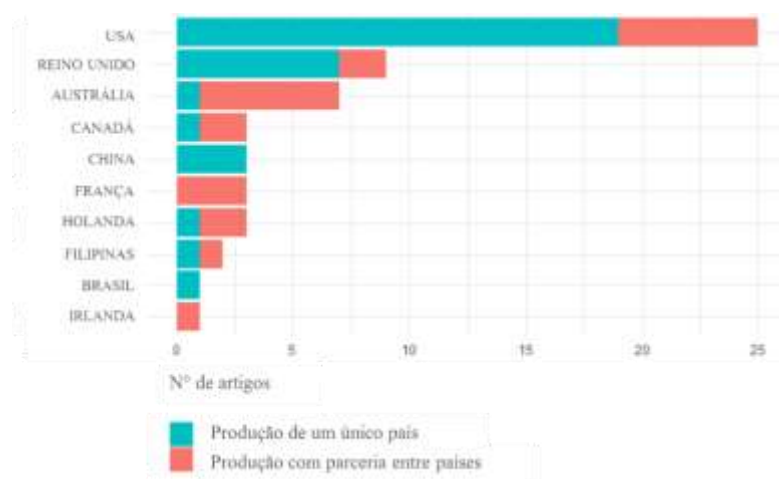
A busca realizada plataforma *Scopus* encontrou 93 resultados. A bibliometria realizada com o pacote do R *Bibliometrix* mostrou que esses estudos foram publicados em 36 periódicos, sendo que o mais antigo analisado foi do ano de 2003; e 2015 foi o ano de maior produção de artigos no tema de SEs relacionados a recifes (Figura 4). Um total de 238 pesquisadores participaram do desenvolvimento destes estudos. Os países com maior contribuição foram os Estados Unidos, seguido do Reino Unido e Austrália (Figura 2.5).

Figura 4. Produção científica anual das publicações entre 2003 e 2019 analisadas neste trabalho.



Fonte: a autora.

Figura 2.5. Número de publicações dos países com maior produção no período analisado.



Fonte: a autora.

Para focar nos SEs com maior probabilidade e relevância de ocorrência em Ipojuca, foram selecionados os SEs citados ao menos 10 vezes nos artigos analisados durante a revisão bibliográfica. Essa etapa foi realizada por entender que esses são os serviços mais recorrentes nos recifes do mundo e, conseqüentemente, com maiores chances de também existirem no litoral de Pernambuco.

Entre os serviços selecionados, foi observada a existência de sinônimos para os mesmos SEs, e para facilitar a compreensão foi adotado como padrão a nomenclatura utilizada na classificação CICES. Essa seleção resultou em uma lista com 22 serviços descritos na literatura e que existem na maioria dos recifes estudados nos artigos analisados (Tabela 2).

Tabela 2. Serviços ecossistêmicos exercidos por recifes ao redor do mundo.

Descrição do SE	Número de vezes citado nos artigos
Plantas (algas/fungos) usados na alimentação	28
Animais usados na alimentação	28
Manutenção e viabilização de habitats	26
Animais usados para outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)	25
Berçário de espécies	25
Plantas (algas/fungos) usados para outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)	24
Prática de esporte e recreação	24
Dispersão de sementes de espécies de plantas costeiras (mangue)	23
Diluição de poluentes	23
Observação da paisagem (relaxamento), beleza cênica	23
Comunidade biológica atuando no controle de erosão/estabilização de sedimentos	22
Regulação física da circulação de água atuando no controle de inundação	22
Facilitação da dispersão/fecundação de espécies	21
Transformação biogeoquímica e/ou física de esgoto/dejetos	17
Local de ensino	16
Minerais para alimentação ou outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)	15
Desenvolvimento de pesquisas	15
Patrimônio histórico/cultural	15
Material genético de plantas (algas/fungos) usados para repovoamento	14
Material genético de animais usados para repovoamento	14
Intenção de uso futuro	12
Fins religiosos	11

Fonte: a autora.

Alguns SEs não aparecem nos artigos de forma explícita. Por exemplo, o SE: ‘berçário de espécies’, que, em alguns artigos, é citado como suporte para estoque pesqueiro; ou o serviço de ‘animais usados na alimentação’ é citado como pesca ou captura de espécies específicas, como lagostas e polvos. Nestes casos a identificação foi baseada na interpretação do texto. Uma síntese dos resultados dos SEs descritos nos 50 artigos selecionados está apresentada no ANEXO .

2.5.2 Oficina com gestores

Os três grupos de gestores eram formados por secretários de meio ambiente, agente de campo e analistas ambientais. A discussão nos três grupos de gestores, cada qual com um pesquisador moderador, sobre a existência de SEs nos recifes da Praia de Porto de Galinhas apontou alguns SEs para a área de estudo. Embora os gestores raramente empregassem o

termo "serviços ecossistêmicos" durante a oficina, foi mencionado, principalmente, os benefícios fornecidos pelas áreas recifais ao descrever os usos diretos. Foram abordados o ambiente recifal, praias e o marinho adjacente, a fim de avaliar a capacidade dos participantes de individualização dos SEs para cada local. O resultado desta avaliação foi positivo, pois os grupos listaram diferentes serviços para cada ecossistema (Figura 6).

Com relação à praia emersa, foram citados um total de sete serviços. Sendo que apenas o serviço cultural de prática de esportes e banho, foi citado pelos três grupos, e classificado como alta importância. Os demais serviços identificados estão relacionados a práticas comerciais que ocorrem na praia, área de nidificação e serviço de paisagem, que foram citados por dois grupos (Tabela 3).

Com relação ao marinho adjacente, foram citados um total de nove serviços. Sendo: recreação com banho e navegação com embarcações particulares; e turismo com passeio de jangadas, foram citados pelos três grupos e classificados como de alta importância (Tabela 3).

Com relação aos recifes, foram identificados um total de nove serviços, sendo os serviços de proteção costeira e de recreação através do mergulho citados por todos os grupos e classificados como alta importância. Outro serviço identificado foi o legado cultural dos recifes para a comunidade através da navegação com jangadas (Tabela 3).

Figura 6. Distribuição espacial dos serviços e atividades identificados pelos participantes da oficina.



Fonte: a autora.

O nome dado aos SEs pelos gestores foram diferentes em cada grupo, mas facilmente identificados e relacionados com os SEs descritos no banco de dados CICES, a fim de compatibilizar as fontes de dados utilizados para descrever os SEs existentes na área de estudo (Tabela 3). Com base nesse resultado foi definido que o questionário de caracterização dos SEs (3ª fase) seria composto de questões fechadas, para evitar inconsistência de definições entre os entrevistados.

Tabela 3. Serviços ecossistêmicos correspondentes no CICES com os SEs citados na oficina pelos gestores.

Ambiente	SE - Oficina	SE - CICES	Importância para a comunidade	Nº de vezes citado
P R A I A L	Caminhada	Oportunidade de interações físicas com o ambiente	Alta	3
	Prática de esportes/banho	Oportunidade de interações físicas com o ambiente	Alta	3
	Beleza cênica	Elementos da natureza usados para entretenimento	Média	2
	Comércio	Interações diretas com sistemas físicos naturais que dependem da presença no ambiente	Média	2
	Habitação	Interações diretas com sistemas físicos naturais que dependem da presença no ambiente	Média	2
	Turismo	Elementos da natureza usados para entretenimento	Média	2
	Nidificação	Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida de algumas espécies	Baixa	2
M A R I N H O	Banho	Oportunidade para natação	Alta	3
	Turismo (jangadas)	Oportunidade para apreciar a vida selvagem	Alta	3
	Lazer (barcos)	Oportunidade para apreciar a vida selvagem	Alta	3
	Pesca (artesanal)	Estoque pesqueiro	Média	3
	Variação da maré	Atenuação da energia das ondas e prevenção de inundações	Baixa	1
	Contemplação	Elementos da natureza usados para entretenimento	Baixa	1
	Fornecimento de oxigênio	Comunidades de peixes/algas que regulam o ambiente	Baixa	1
	Prática de esportes	Oportunidade para surfe	Baixa	1
R E C I F A L	Mergulho	Oportunidade para mergulho	Baixa	1
	Mergulho	Oportunidade para mergulho	Alta	3
	Proteção da linha de costa	Atenuação da energia das ondas e prevenção de inundações	Alta	3
	Berçário	Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida de algumas espécies	Média	2
	Banho	Oportunidade para natação	Média	2
	Turismo (jangadas)	Elementos da natureza usados para entretenimento	Baixa	1
	Valor cultural (histórico)	Relação da comunidade local pelo ecossistema	Baixa	2
	Beleza cênica (paisagem)	Espécies que podem ser apreciados	Baixa	1
	Biodiversidade	Banco genético	Baixa	1
	Pesquisa científica	Local de especial interesse científico	Baixa	1

Fonte: a autora.

Apesar de ter sido apresentado uma palestra sobre serviços ecossistêmicos antes da realização da atividade, ficou evidente a confusão dos participantes quanto à diferença entre SEs e usos dos benefícios provenientes desses serviços. Esse é um conceito discutido por pesquisadores da área que apontam inconsistências no uso dos termos referentes a SEs (Boyd e Banzhaf, 2007). Os resultados na Tabela 3 mostram que alguns serviços foram citados mais de uma vez com diferentes usos, por exemplo o SE de oportunidade para prática de exercícios físicos foi citado pelo mesmo grupo como SE de banho, SE de mergulho, SE de caminhada e SE de esportes.

A atividade de identificação espacial dos SEs na Praia de Porto de Galinhas evidenciou a dificuldade em delimitar locais de ocorrência de tais serviços, uma vez que a maioria dos SEs foi definido como de abrangência global no ecossistema analisado. Um motivo para a sobreposição de tantos serviços pode ser uma característica do estudo, com escala local, restringindo a identificação de benefícios pontuais.

Adicionalmente, os serviços identificados pelos gestores refletem principalmente o uso direto dos benefícios dos ecossistemas, com isso as áreas com muitas sobreposições de serviços são aquelas com maior concentração de pessoas. Essa percepção dos gestores já era esperada, uma vez que os serviços de uso direto são mais facilmente identificados. Entretanto, isso gera uma preocupação quanto à limitação do conhecimento dos gestores sobre os benefícios dos ecossistemas, como com relação aos serviços de regulação, por exemplo.

Na oficina com gestores muitos SEs recorrentes na bibliografia não foram abordados, e para completar essa lacuna foram realizadas as entrevistas individuais seguindo um roteiro elaborado com base nos dados da bibliografia, o que permitiu uma caracterização mais completa dos SEs da região de Ipojuca.

2.5.3 Caracterização dos serviços

Os questionários foram respondidos presencialmente por quatro pesquisadores e quatro gestores e estão apresentados integralmente no ANEXO . O uso de perguntas fechadas no questionário permitiu obter as informações necessárias para atingir os objetivos da pesquisa, o que não havia sido possível com a oficina, uma vez que diversos SEs descritos na bibliografia não foram discutidos nesta primeira etapa. Já na entrevista, todos os SEs identificados na revisão bibliográfica foram abordados.

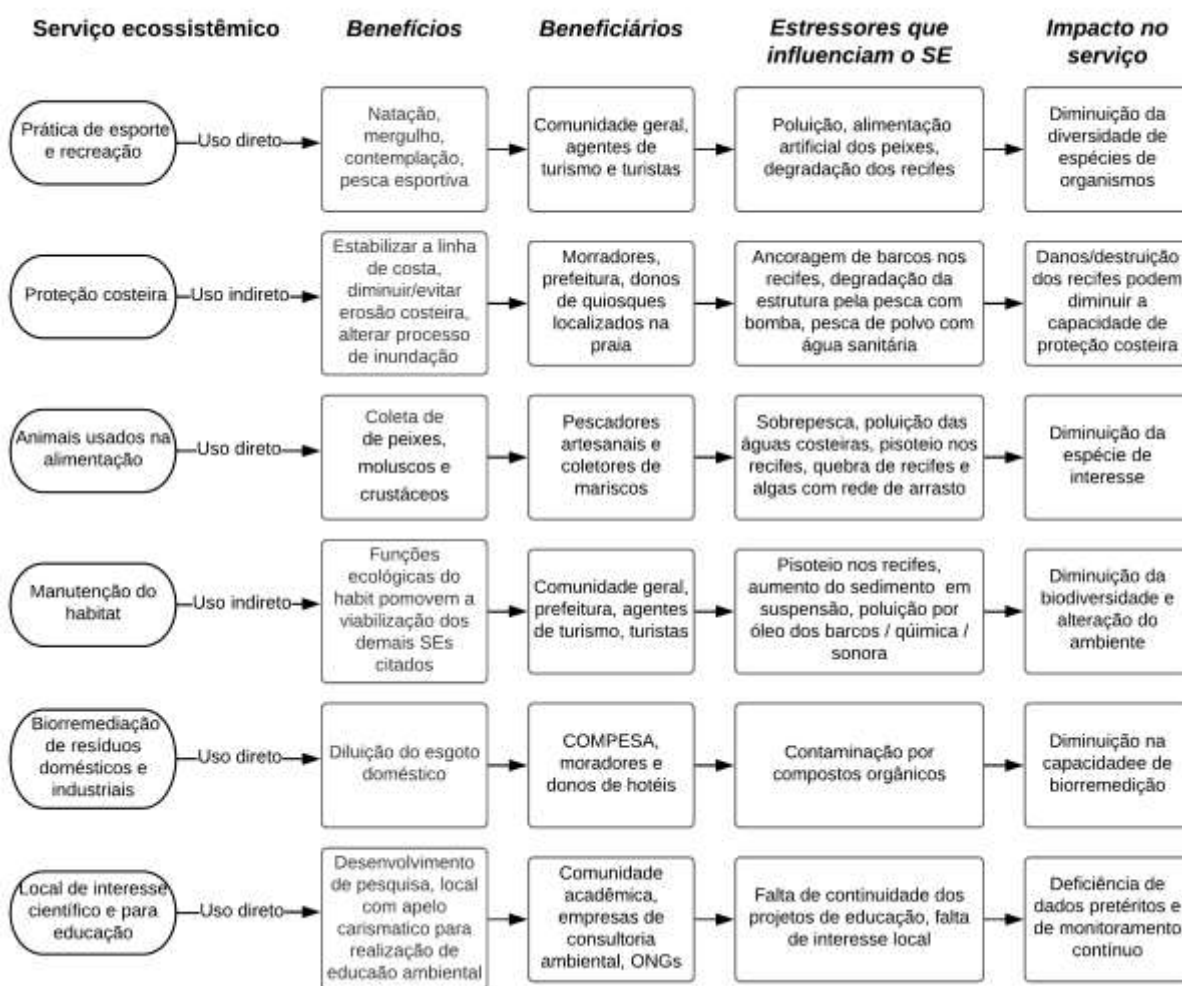
A identificação participativa dos gestores e pesquisadores na caracterização dos SEs de Ipojuca foi para a compreender as interações entre os mesmos e principalmente na identificação dos atores beneficiados e os estressores que podem gerar impactos no SEs em Ipojuca. O método snow ball aplicado foi satisfatória, uma vez que os entrevistados indicaram outros profissionais da área de pesquisa para participar da pesquisa. Como o número de pessoas que trabalha diretamente com os recifes de coral de Ipojuca é pequeno, as indicações para próximos entrevistados começaram a se repetir rapidamente. Entretanto, a coerência observada nos dados coletados nas 8 entrevistas garantiu a consistência dos resultados.

Dos 22 serviços avaliados, seis SEs foram classificados como de alta importância para a comunidade costeira. A importância alta está relacionada à proporção de usuários do serviço e da dependência que a comunidade tem de um determinado SE, muitas vezes sendo a única fonte de renda de algumas famílias.

A recreação esportiva foi considerada por sete dos oito entrevistados como sendo de alta importância para a comunidade. Isso demonstra que dentre os 22 SEs abordados na entrevista, o que tem maior importância para a comunidade está também relacionado aos usos turísticos como mergulho, natação, surfe, caminhada e yoga. No entanto, a recreação também configura uma importante fonte de estressores ambientais sobre o ecossistema recifal. O pisoteio dos turistas sobre os recifes durante a maré baixa, por exemplo, foi citado nas entrevistas como um estressor que pode influenciar negativamente a provisão de outros serviços para a comunidade. Em Porto de Galinhas já foi reportado mortandade de espécies de coral duro e desaparecimento de organismos que vivem associados com tais espécies, em decorrência do intenso pisoteio, principalmente nos recifes mais próximos da costa (Sarmiento e Santos, 2012).

Em seguida vem a importância do SE dos fundos de algas e recifes de coral que contribuem para a proteção costeira relacionados aos usos indiretos de proteção à inundação, proteção à erosão, local calmo para banhistas, e marina para barcos de passeio (Figura 7). Áreas protegidas por recifes têm sido historicamente usadas para estabelecer portos e rotas de navegação (Wells, Ravilious e Corcoran, 2006). Na região metropolitana de Recife, em Pernambuco, foi identificado que os recifes rasos do tipo barreira, localizados a menos de 2 m de profundidade, são capazes de reduzir até 67% da energia das ondas, enquanto os recifes de franjas reduzem até 99,9% dessa energia durante as marés baixas (Costa *et al.*, 2016).

Figura 7. Matriz dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos recifes Ipojuca, Pernambuco considerados de alta importância pelos pesquisadores e gestores que responderam os questionários.



Fonte: a autora.

O estoque pesqueiro através do uso para alimentação, foi considerado pelos entrevistados como um uso de alta importância para a comunidade, entretanto os pescadores artesanais não realizam a pesca diretamente sobre a área de recife, mas sim na região adjacente, onde se concentram os peixes de maior interesse pesqueiro. Já a pesca recreativa acontece sobre os recifes, e inclusive ocasiona um impacto negativo no sistema, uma vez que os pescadores caminham sobre os recifes durante a maré baixa em alguns pontos do litoral. Outro estressor resultante da pesca é quanto ao emprego de técnicas ilegais como pesca com bomba e a pesca de polvos com água sanitária, ainda que pouco utilizadas. Ambas as técnicas são prejudiciais aos recifes, causando sua degradação (Leite, Haimovici e Lins, 2008).

O ecossistema recifal da região foi considerada pelos entrevistados como importante para desenvolvimento sustentável, especialmente através da relação com projetos de educação ambiental. Os projetos são desenvolvidos principalmente por escolas, comunidade acadêmica e pelas ONGs. Um exemplo é o Projeto Hippocampus, sediado em Porto de Galinhas, que se dedica à conservação e educação ambiental, com foco nas espécies locais de cavalos-marinhos. Na sede do projeto várias espécies de peixes recifais estão expostas com o propósito de demonstrar a importância da conservação do ambiente para a manutenção do ecossistema. No Projeto Hippocampus, existe também uma área de berçário, onde filhotes de cavalo-marinho são cuidados nas primeiras fases de vida e posteriormente devolvidos à natureza para aumentar a taxa de sobrevivência.

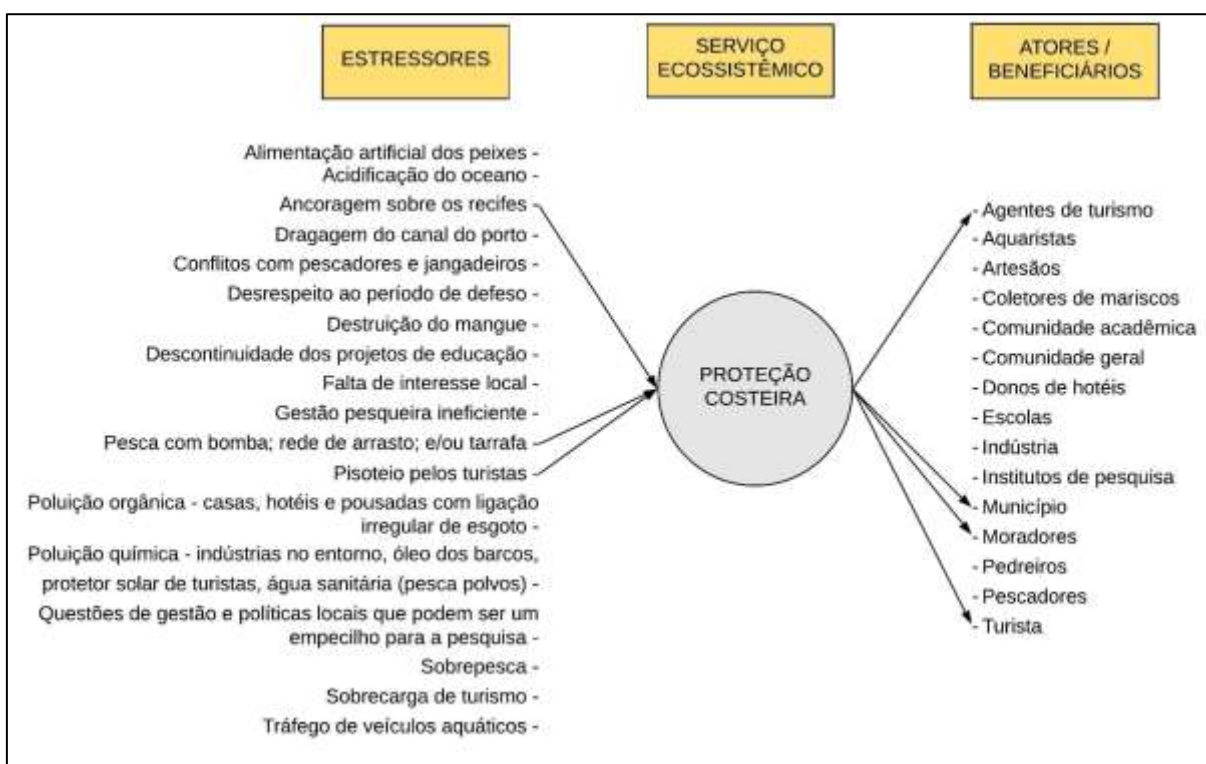
A biorremediação de resíduos domésticos é outro SE importante, sendo que os principais beneficiários deste serviço são os moradores da região que possuem ligação clandestina na rede pluvial. Muitas residências da região não são atendidas pelo sistema de coleta de esgoto, entretanto, nestes casos a recomendação da prefeitura é que seja utilizado o sistema domiciliar de tratamento primário do efluente com sistema de fossa e filtro. Infelizmente, de acordo com informações dos entrevistados, o despejo irregular de efluente doméstico ainda acontece. Nos recifes, o excesso de nutrientes e matéria orgânica pode ser prejudicial aos organismos construtores de recifes por meio da sedimentação, da toxicidade ou da alta proliferação de algas (Pastorok e Bilyard, 1985).

Os recifes de Ipojuca possuem a base formada por arenitos de praia e a superfície coberta por recifes de alga e corais (Ferreira e Maida, 2006; Ferreira Júnior *et al.*, 2011). A grande variedade de SEs descritas para os recifes do estudo de caso evidenciam que os recifes costeiros com base geológica e topo coralíneo são tão diversos na provisão de serviços quanto os recifes de constituição biológicos, totalmente compostos por corais.

A comunidade em geral foi o ator mais beneficiado pelos SEs dos recifes, de acordo com os entrevistados. Entre os beneficiários estão toda a população de Ipojuca, como os moradores que vivem próximos da linha de costa, os turistas que visitam o local e os agentes de turismo. O SE de recreação, por exemplo, beneficia esses três grupos simultaneamente. Além da recreação, outros SEs também beneficiam a comunidade em geral, o que torna esse grupo o mais dependente do recife, ou seja, o que seria mais afetado por alterações na capacidade de prover SEs dos recifes.

Em muitos casos, uma entrevista complementou as respostas de outra, abrangendo diversas relações. Entretanto, algumas relações não foram mencionadas como, por exemplo, no SE de proteção costeira em que alguns estressores não foram classificados como potenciais causadores de danos, como a acidificação dos oceanos, a dragagem do canal do porto e a poluição química e orgânica (Figura 8). Essa relação existe porque podem comprometer a viabilidade e o crescimento dos organismos construtores de recife e, com o tempo, a erosão do recife morto abriria espaço para a passagem de ondas com mais energia para a costa (WRI, 2004).

Figura 8. Relação entre estressores e beneficiários do serviço de proteção costeira, de acordo com os entrevistados.



Fonte: a autora.

O mesmo acontece com a relação entre o SE e os beneficiários do serviço de proteção costeira. Os SEs oferecidos por recifes variam de acordo com as características do mesmo e do entorno. Dentre essas características estão as dimensões do recife, a profundidade dos *patches*, a temperatura, composição química e disponibilidade de nutrientes da água, entre outras. Por exemplo, recifes com espécies frágeis não são eficazes na atenuação de energia de

ondas, enquanto que espécies de coral duro são mais eficazes neste serviço (Mumby *et al.*, 2008). Isso explica por que nem todos os serviços citados na literatura são relevantes na área de estudo. E por questões culturais, alguns SEs estão disponíveis na área de estudo, mas não são utilizados pela população.

“Macroalgas disponíveis para coleta, População vegetal como banco genético e População animal como banco genético” são exemplos de serviços disponíveis em Ipojuca, mas que não são utilizados. De acordo com os entrevistados, em outros recifes do Nordeste do Brasil existe a extração de algas para uso de indústrias de espessantes, bem como coleta de sementes de mariscos e ostras para uso em aquacultura, e de corais para repovoamento de áreas degradadas ou de naufrágios.

Pelo fato de a entrevista ter sido realizada pessoalmente, os especialistas puderam fazer contribuições além do que as perguntas abordaram, o que enriqueceu os resultados, principalmente com relação a usos pontuais e poucos expressivos de alguns benefícios dos SEs. Como exemplo tem-se o uso de espécies de algas e corais para ornamentação de aquários e ajuste de pH, apesar desta não ser prática legal uma vez que a extração de espécies de corais da região é proibida pelo Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC) do litoral sul de Pernambuco (Pernambuco, 1999). Entretanto, muitas vezes esses organismos são retirados da natureza para uso particular sem conhecimento de que a prática é ilegal. A Tabela 4 mostra os impactos relacionados com a possíveis alterações na provisão e SEs.

De acordo com a ZEEC 21972-99, Art. 6°. § 2°:

“Proíbe-se na subzona dos Recifes de Arenito, Algas e Corais:

- I. Extração de corais e algas calcárias;
- II. Extração do substrato recifal;
- III. Extração de cascalho e areia;
- IV. Pesca predatória;
- V. Coleta;
- VI. Comercialização e transporte de peixes e organismos de característica ornamental;
- VII. Captura, comercialização e transporte do mero e tubarão lixa;
- VIII. Ancoragem de embarcações nos recifes;
- IX. Construção de qualquer natureza sobre os recifes; e
- X. Lançamento de resíduos e efluentes de qualquer natureza.”

Tabela 4. Impactos ambientais que afetam os serviços ecossistêmicos dos recifes costeiros de Ipojuca, PE.

Impacto	Estressor
Degradação física dos recifes	Pesca com bomba
	Rede de arrasto
	Rede tarrafas
	Ancoragem sobre os recifes
	Pisoteio pelos turistas
Perturbações locais	Tráfego de veículos aquáticos
	Superlotação nas piscinas naturais
	Alimentação artificial dos peixes
	Sobrepesca
Poluição	Desrespeito ao período de defeso
	Poluição química - indústrias no entorno, óleo dos barcos, protetor solar de turistas, água sanitária (pesca polvos)
	Poluição orgânica - casas, hotéis e pousadas com ligação irregular de esgoto
Problemas regionais	Destruição do mangue
	Acidificação do oceano dissolve o sedimento
	Aumento do sedimento em suspensão pelas dragagens frequentes do porto
Problemas sociais	Conflitos com pescadores e jangadeiros
	Falta de interesse local
	Gestão pesqueira ineficiente
	Falta de continuidade dos projetos de educação
	Questões de gestão e políticas locais que podem ser um empecilho para a pesquisa

Fonte: a autora.

Os inúmeros usos antrópicos da zona costeira, muitas vezes sem o planejamento adequado, degradam e desestabilizam a dinâmica natural do ambiente, comprometendo a funcionalidade do ecossistema em relação à oferta de SEs necessários para a sustentabilidade ambiental da faixa costeira (Muñoz e Barrera, 2010). Outro fator que causa impactos nestes ambientes são as mudanças climáticas, que podem alterar a distribuição e a composição das distintas formações costeiras. Dentre os impactos gerados pelas mudanças climáticas, os mais significativos são o aumento das taxas de erosão da costa, alteração das áreas de marismas e manguezais e riscos aos recifes de coral, comprometendo o uso do solo e o desenvolvimento regional, bem como causando elevados prejuízos de ordem econômica e do bem-estar humano (SOSMA, 2012).

Em um estudo baseado em um questionário participativo no Havaí, a pesca e as atividades costeiras, como a recreação, foram mencionados pelos gestores como sendo os serviços que merecem maior atenção nos planos de gerenciamento costeiro. Os mesmos

gestores entrevistados também discutiram a importância de se ter consciência sobre as interações entre ambientes, a fim de promover a diminuição da poluição produzida nas cidades que chega no mar, e consequentemente, causa danos nos recifes (Bremer *et al.*, 2015). As decisões de gestão marinha focam-se no equilíbrio de múltiplos interesses por meio da identificação de interações entre diferentes atores. De acordo com Bremer *et al.* (2015), no Havaí a gestão é feita priorizando áreas protegidas em combinação com critérios ecológicos e socioeconômicos, incluindo pesca, manutenção do habitat, composição de espécies e interesses da comunidade.

Na oficina, foi possível constatar que os gestores inicialmente relacionam SEs aos usos e benefícios dos serviços, e em muitos casos os gestores não identificaram sozinhos a relação entre os usos e os SEs. Entretanto, com o questionário fechado, quando abordado os SEs diretamente, os entrevistados entenderam facilmente a questão e foram capazes de associar à diversos usos dos SE. Isso mostra que o entendimento da terminologia SE possui alguns entraves quanto à conceituação. Ultimamente, muitas pesquisas e debates foram feitos para definir exatamente o que constitui um serviço ecossistêmico, como uma tentativa de quantificar melhor em que medida os ecossistemas contribuem para o bem-estar humano (Small, Munday e Durance, 2017).

É importante levar essa falta de entendimento em consideração quando se está elaborando um plano de gestão baseada em ecossistema, porque muitas vezes os gestores que irão implementar o plano não possuem uma formação profissional que garanta o entendimento imediato da metodologia de SEs. Contudo, o uso do conceito de SEs na gestão permite identificar a importância de conservar alguns habitats, questão que tradicionalmente é baseada na biodiversidade dos ambientes. Além de destacar a interação entre os processos naturais dos ecossistemas e os tópicos frequentemente buscados em planos de manejo, como a possibilidade de pesca e a proteção costeira. Além disso, esse conceito de gestão pode identificar melhor as partes interessadas que utilizam ou com interesse em utilizar os serviços, o que pode facilitar o desenho de processos participativos desejáveis (Scherer e Asmus, 2016).

2.6 CONCLUSÕES

Os SEs em Ipojuca são tão diversos quanto em outros recifes do mundo, como foi comprovado pela entrevista com gestores, uma vez que a entrevista foi baseada nos SEs

descritos na revisão bibliográfica. Esse resultado é interessante, uma vez que os recifes de Ipojuca, não possuem a mesma diversidade de espécies que outros recifes do mundo, como os do Caribe ou a Grande Barreira de Corais da Austrália, além da menor biodiversidade os recifes de Ipojuca são menores em extensão, entretanto isso mostrou que não é um fator limitante para a oferta dos SEs avaliados. Alguns grupos de beneficiários como, por exemplo, os agentes de turismo, são, economicamente, mais dependentes dos SEs do recife, tornando-os mais vulneráveis a possíveis impactos ambientais e alterações na provisão dos serviços.

Os SEs mais relevantes para a região são a possibilidade de recreação e a proteção costeira. Nas duas etapas de reconhecimento dos SEs (oficina e entrevista), esses SEs foram mencionados e considerados de alta importância. Portanto, são aspectos que deveriam, fundamentalmente, ser considerados na elaboração de planos de zoneamento e uso do litoral, a fim de minimizar os impactos na provisão desses SEs para a sociedade.

A oficina com os gestores atuantes na zona costeira de Pernambuco mostrou que existe uma deficiência de compreensão sobre o que são SEs e o que são benefícios extraídos dos SEs. Portanto, este é um ponto que deve ser mais trabalhado com os gestores caso seja implantado medidas de manejo ambiental baseado em ecossistemas. Outro ponto que gerou dúvida entre os participantes foi com relação aos serviços de regulação, que foram citados com maior insegurança.

O método aplicado para identificar os SEs, através da participação de gestores e pesquisadores, foi enriquecedora para a pesquisa. Apenas dados de bibliografia não seriam suficientes para compreender as interações dos SEs em Ipojuca. Isso reforça a ideia de que é preciso haver diálogo entre pesquisadores e gestores.

Estudos sobre a percepção ambiental são relevantes, pois permitem diagnosticar as necessidades de conhecimento de um determinado segmento de estudo e, a partir deste, criar um programa de educação ambiental voltado para as deficiências identificadas. Os resultados dessa entrevista mostraram que para a implementação de uma nova metodologia de gerenciamento com base ecossistêmica seria necessário primeiramente investir na formação e capacitação dos profissionais, possibilitando a melhor compreensão das interações entre SEs, seus usos e demandas dos usuários.

O conhecimento dos SEs oferecidos pelos recifes pode ser uma ferramenta útil para comunicação e planejamento da gestão costeira. O uso estratégico identificado nessa pesquisa do método dos serviços ecossistêmicos pode ser expresso em como comunicar o que já

sabemos de uma maneira mais abrangente e com isso justificar para a comunidade a razão das ações de gerenciamento.

REFERÊNCIAS

ALBERT, J. A. *et al.* Reaping the reef: Provisioning services from coral reefs in Solomon Islands. **Marine Policy**, v. 62, p. 244–251, 2015.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

BOERAEVE, F. *et al.* Participatory identification and selection of ecosystem services: Building on field experiences. **Ecology and Society**, v. 23, n. 2, p. 27, 2018.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, 2007.

BRAAT, L. C. The Value of the Ecosystem Services Concept in Economic and Biodiversity Policy. *In: Ecosystem Services: Global Issues, Local Practices*. [s.l: s.n.]. p. 97–103.

BREMER, L. L. *et al.* Opportunities and Strategies to Incorporate Ecosystem Services Knowledge and Decision Support Tools into Planning and Decision Making in Hawai‘i. **Environmental Management**, v. 55, n. 4, p. 884–899, 5 abr. 2015.

CESAR, H.; BURKE, L.; PET-SOEDE, L. The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. **Cesar Environmental Economics Consulting, Arnhem, and WWF-Netherlands**, v. 14, p. 23, 2003.

COSTA, M. B. S. F. *et al.* Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318–327, 2016.

CPRH. **Diagnóstico socioambiental - Litoral sul de Pernambuco**. Recife, BR: Agência Estadual de Meio Ambiente - Governo de Pernambuco, 2001.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics : principles and applications**. [s.l: s.n.].

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* Geologia Do Quaternário Costeiro Do Estado De Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1–4, p. 208–215, 1990.

ELLIFF, C. I.; KIKUCHI, R. K. P. The ecosystem service approach and its application as a tool for integrated coastal management. **Natureza & Conservação**, p. 1–7, 2015.

FAZEY, I. *et al.* The nature and role of experiential knowledge for environmental conservation. **Environmental Conservation**, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2006.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: situação e perspectivas**. [s.l.: s.n.].

FERREIRA JÚNIOR, A. V. *et al.* Petrologia dos arenitos de praia (Beachrocks) na costa central de Pernambuco. **Geociências**, v. 30, n. 4, p. 545–559, 2011.

FREIRE, O. D. DA S.; ZAMBONI, A.; MIGUENS, A. P. **Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão**. Brasília, BR: Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão (MPO), 2004. v. 1

GUIMARAES SANTOS, J.; ATAÍDE CÂNDIDO, G. Atividades turísticas e indicadores de sustentabilidade: Um estudo em um destino turístico brasileiro. **Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, v. 16, n. 1, p. 37–54, 2018.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. **European Environment Agency**, 2018.

HANDCOCK, M. S.; GILE, K. J. Comment: On the concept of snowball sampling comment: on the concept of snowball sampling. **Sociological Methodology**, v. 41, p. 367–371, 2011.

LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; LINS, J. E. A pesca de polvos no arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 271–280, 2008.

MARTÍNEZ-SASTRE, R. *et al.* Mediterranean landscapes under change: Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. **Land Use Policy**, v. 67, n. October 2016, p. 472–486, 2017.

MEA, M. E. A. **MA Conceptual Framework Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1368980003000806>.

MEA, M. ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Relatório-síntese da avaliação ecossistêmica do milênio Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment**. [s.l.: s.n.].

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215–233, 1999.

MOURA, M. S. M. **PPescadores artesanais em Ipojuca: análise da vulnerabilidade socioambiental associada à construção da Refinaria Abreu e Lima, Pernambuco**. [s.l.] Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.

MUMBY, P. J. *et al.* Coral Reef Habitats as Surrogates of Species, Ecological Functions, and Ecosystem Services. **Conservation Biology**, v. 22, n. 4, p. 941–951, ago. 2008.

MUÑOZ, J. M. B.; BARRERA, F. B. Litorales. *In: Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas*. Espanha: [s.n.]. p. 673–738.

PASTOROK, R.; BILYARD, G. Effects of sewage pollution on coral-reef communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 21, p. 175–189, 1985.

PERNAMBUCO. **Decreto Estadual nº 21.972, de 29 de dezembro de 1999. Aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro – ZEEC do Litoral Sul de Pernambuco, e dá outras providências** Pernambuco, 1999. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br>>

PRASETYA, G. **Protection from coastal erosion** (S. BRAATZ et al., Eds.) Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees? Proceedings of the Regional Technical Workshop. **Anais...Khao Lak, Thailand: 2006**

RIBEIRO, F. A. *et al.* Análise quali-quantitativa das populações algáceas de um trecho recifal na praia de Boa Viagem, PE. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 2, p. 222–228, 2008.

SARMENTO, V. C.; SANTOS, P. J. P. Trampling on coral reefs: Tourism effects on harpacticoid copepods. **Coral Reefs**, v. 31, n. 1, p. 135–146, 2012.

SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L. Ecosystem-Based Knowledge and Management as a tool for Integrated Coastal and Ocean Management: A Brazilian Initiative. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 690–694, 3 mar. 2016.

SMALL, N.; MUNDAY, M.; DURANCE, I. The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. **Global Environmental Change**, v. 44, p. 57–67, maio 2017.

SOSMA. **Programa para a conservação das zonas costeira e marinha sob influência do bioma mata atlântica**. [s.l.: s.n.].

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. *et al.* Padrão espacial da comunidade de macroalgas de mesolitoral em ambiente recifal do nordeste brasileiro. **Tropical Oceanography**, v. 41, n. 1–2, p. 84–92, 2013.

WELLS, S.; RAVILIOUS, C.; CORCORAN, E. Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. **In the front line**, p. 33, 2006.

WRI, W. R. I. Economic implications of coral reef degradation. *In: BURKE, L.; MAIDENS, J. (Eds.). . Reefs at risk in the Caribbean*. [s.l.: s.n.]. p. 52–59.

3 THE ROLE OF CORAL REEFS IN COASTAL PROTECTION - ANALYSIS OF BEACH MORPHOLOGY

3.1 INTRODUCTION

Coral reefs provide ecosystem services that are fundamental to human well-being (Albert *et al.*, 2015), including coastal protection, maintenance of species biodiversity, provision of food, recreation and aesthetic value (Moberg e Folke, 1999a). It is estimated that reefs are responsible for preventing, annually, more than US\$4 billion in damages from storms (Beck *et al.*, 2018). Such damage is avoided through water waves energy attenuation, creating therefore a sheltering effect that facilitates sediment accumulation and beach stability. By altering the physical environment, corals can contribute to the development of other ecosystems such as seagrass beds and mangroves (Barbier *et al.*, 2011).

Wave transformation across the reefs are the main source of the ecosystem service of coastal protection, as previously observed in other sites (Zanten, Beukering e Wagtendonk, 2014). Up to 97% of wave energy can be dissipated by reefs (Ferrario *et al.*, 2014), with the wave height decreasing by 25 - 55% depending on the depth of the reef and its extension (Costa *et al.*, 2016).

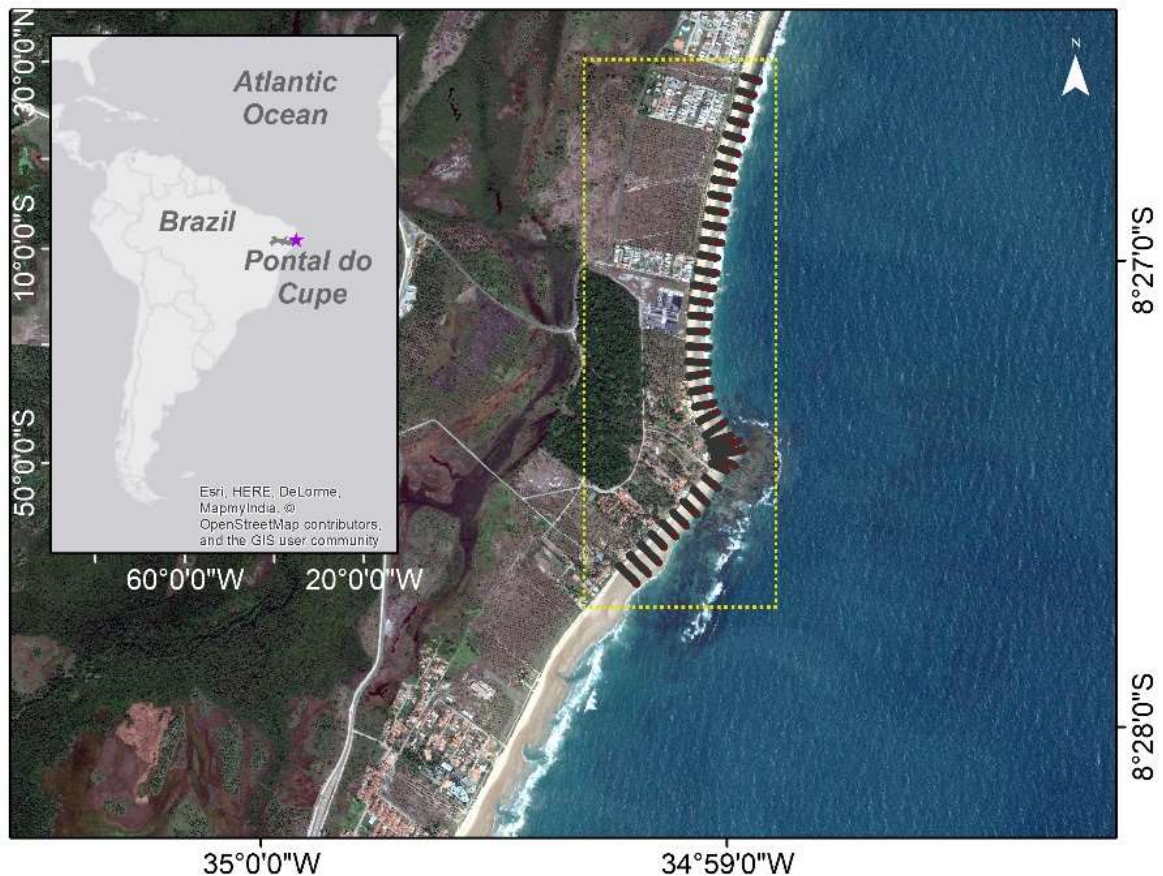
Generally, reef-fronted beaches have a steep reflective upper beach and a featureless intertidal area (Short, 2006). Reef-fronted beaches are considerably less dynamic than beaches without a reef (Gallop *et al.*, 2011; Alegria-Arzaburu *et al.*, 2013). For the same offshore wave conditions, exposed beaches usually exhibited large morphological complexity, where reef-fronted beaches have a profile with less three-dimensional features (Alegria-Arzaburu *et al.*, 2013; Mallmann *et al.*, 2014).

This study aims to assess the ecosystem service of coastal protection provided by the Cupe reef by comparing the temporal and spatial variability of beach profiles in the lee of the reef and at adjacent exposed shoreline. The beach configuration found at Pontal do Cupe Beach is like several other reef fronted beaches in Brazil, therefore its importance as a study site to understand the effects of coral reefs on beach morphology for the region.

3.2 STUDY SITE

Pontal do Cupe beach is located south of Recife, the capital of Pernambuco state, Brazilian northeast. It can be characterized as a reflective beach, dominated by carbonate medium sand with morphology influenced by the presence of a reef line parallel to the shore (Dominguez *et al.*, 1990). The reef is formed by corals, calcareous algae and molluscs (Ferreira e Maida, 2006). At low tide, especially during spring tide, the reef flat of Pontal do Cupe Beach get emerged, confining masses of water that form pools and natural channels (Figure 1).

Figure 1. Location of Pontal do Cupe beach. The satellite image (Google Earth 2010) shows the reef flat exposed at low tide. The lines on the beach show the position of beach profile measurements.



Source: the author.

The region has a tropical Atlantic climate, with an annual average temperature of 24 °C and annual precipitation of about 2,000 mm, predominantly from March to September, and drought the rest of the year. The southeast trade winds prevail in the study area and determine the wave climate. Waves from ESE with a mean height of 1.7 m and peak period of 8.9 s dominate throughout the year. The dominant ESE waves determine the sediment transport by longshore drift to the north (Pereira *et al.*, 2015). According to tide data provided by the Brazilian Directory of Hydrography and Navigation, the tidal range in the region is mesotidal and semidiurnal.

Reef-fronted beaches in the same region as Pontal do Cupe show a slightly concave morphology; with a variable slope according to the sediment grain size and the incident wave climate (Mallmann *et al.*, 2014).

3.3 METHODS

The variability in beach topography and the dissipation of wave energy are used here as proxies to approach the ecosystem service of coastal protection provided by the reef at Cupe. The assessment of beach behaviour facing wave changes were based in two years of monthly beach topography data and offshore wave data from the model Wave Watch III (WWIII) (Tolman, 2009).

3.3.1 Fieldwork

The beach topography data were obtained along 39 cross-shore profiles spaced every 60 m alongshore covering approximately a 2 km long of shore. Monthly beach profiles were measured from November 2014 to September 2016, at low spring tides, to enable data collection. Extending from the dune toe, vegetation line or seawall; to approximately 1 m below mean water level, covering the entire low tide terrace.

The survey was performed using a pair of R3 and R4 Trimble Kinematic GNSS (Global Navigation Satellite System) recording at 5 seconds interval using the official Brazilian datum SIRGAS 2000, and the vertical data to Imbituba datum. The base was positioned at the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) geodetic station number 93804. After postprocessing, terrain latitude, longitude and elevation were obtained with a precision of 1 cm.

A detailed bathymetric survey of the reef zone was conducted using a single-beam 200 kHz echo-sounder (Garmin 298 with a GPS antenna for navigation and positioning) sampling at 0.5 Hz. A total of 40 cross-shore profiles spaced 100 m alongshore and extending were measured from the shoreline to the 20 m isobath. One of the bathymetric transects showing changes in elevation across the reef was used in the numerical modelling.

3.3.2 Numerical Modelling

XBeach is a model for wave propagation, long waves and average flow, sediment transport and morphological changes of the nearshore area, beaches, dunes and back-barrier during storms (Roelvink *et al.*, 2010). The 1D Xbeach non-hydrostatic wave model was used here in a simple simulation to assess the role of the reef in dissipating wave energy. A selected set of forcing conditions was first applied to simulate wave propagation across the reef, for one of the measured bathymetric transects; and the resulting beach morphology over two tidal cycles (25 hours). The study area bathymetry showed a presence of two main submerged reef patches and an occasional emerged coastal reef (Figure 2 and Figure 3).

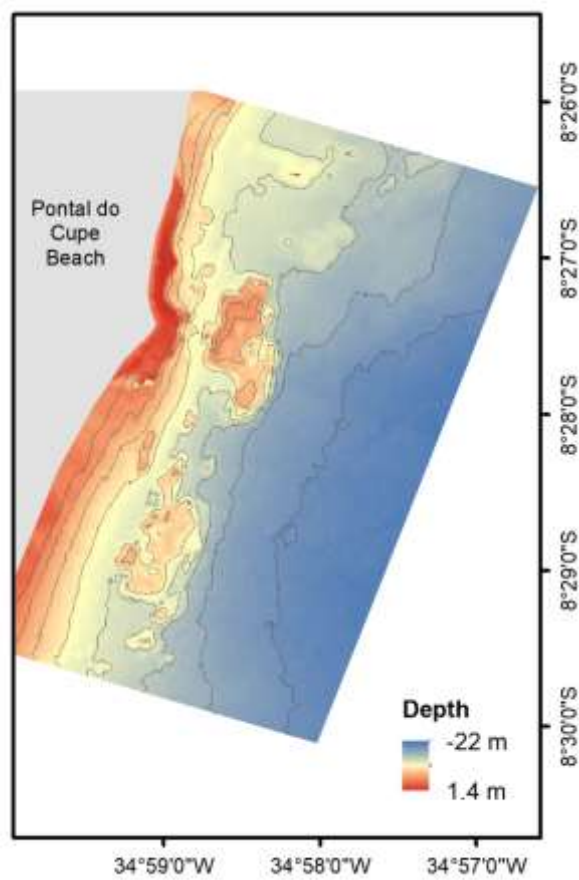
The forcing conditions were: water levels reflecting a mean spring tide with MHWL=2.4 m; offshore random wave conditions conforming to a JONSWAP spectrum with $H_s=3.0$ m and $T_p=8.0$ s; 5 m/s onshore wind across the model; sediment grain size defined to the entire profile, by $D_{50}=0.0010$ m and $D_{90}=0.0012$ m, which reflect the local, sediment characteristics. The drag coefficient of reefs was considered 0.1, the same applied to smooth concrete structures. Since we do not have in situ measurements for this show the trending pattern of waves over the reefs, it does not require precise values. The model parameter, this assumption could lead to underestimated results, but, since the model was applied to run for 25 hours, which cover two tidal periods completely. Wave transformations regarding the height and period were achieved.

XBeach results were used to calculate changes in wave energy along the profile, particularly across the nearshore and reaching the shoreline in each scenario. The sum of wave potential and kinetic energy per unit crest can be represented by the energy equation using the significant wave height (USACE, 2008), as follow:

$$E = \frac{\rho g}{8} H_s^2$$

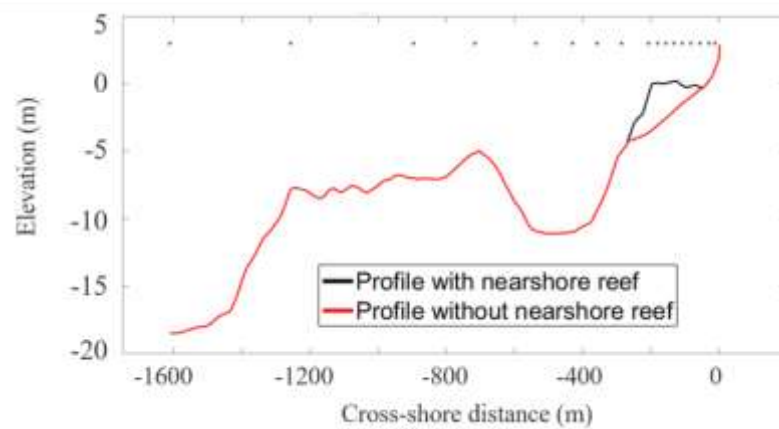
Where E is the wave energy per unit of wave-crest (J/m^2), ρ the water density (kg/m^3), g is the gravity acceleration (m/s^2) and H_s the significant wave height (m). E is the sum of kinetic and potential energy per unit of horizontal area. At the northeast of Brazil, the mean salinity of the surface water is 36 (Araujo *et al.*, 2011) and the mean temperature is 26°C (Mehta *et al.*, 1995), leading to a water density of approximately 1023 kg/m^3 .

Figure 2. Local bathymetry, at Cupe Beach, Brazil.



Source: the author.

Figure 3. Bathymetric profiles used in XBeach, where the black line represents the reef-fronted beach and the red line a reef less beach; the dots indicate the cross-shore positions of data extraction.



Source: the author.

3.3.3 Beach Profiles Characteristics

Temporal variations in beach elevation, morphology and volume changes can be assessed by comparing surveys taken along the same profile line on different periods. Spatial variations can also be assessed by comparing data which have been collected on the same date at a series of adjacent profiles (Cooper, Leggett e Lowe, 2000).

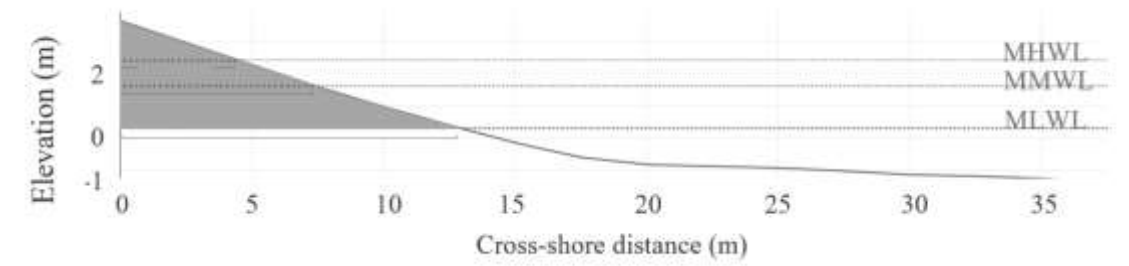
Principal Component Analysis (PCA) was applied to group data of similar beach morphologies aiming to simplify the comparative analysis and identify the most representative forms. To compress the size of the data set, the PCA computes new variables called principal components which are obtained as linear combinations of the original variables, already applied to spatial analysis of beach morphology (Short e Trembanis, 2004; Lemke e Miller, 2017). The eigenvalue associated to a variable represent its contribution for the results (Abdi e Williams, 2010).

In this paper the mean tidal range values are used as a reference for the analysis as: mean low water level (MLWL)=0.3 m; mean water level (MWL)=1.6 m; and mean high water level (MHWL)=2.4 m (Brazilian vertical datum - Imbituba).

For each group, the mean profile equation was defined for every survey. Using the mean equations, the beach volume above the MLWL, above the MWL and above the MHWL were calculated considering a standardised 1 m wide profile. The beach width at each of the

three water levels was also extracted (Figure 4). A relative standard deviation was performed to state the variance of data at each data sample.

Figure 4. Beach profile sketch widths and volumes related to the three water levels (indicated by the shaded area).



Source: the author.

3.3.4 Wave Conditions

The spectral model WAVEWATCH III (WWIII) is a global wave model based on the energy conservation equation in terms of wavenumber and direction (Tolman, 2009). The waves conditions were acquired between October 2014 to October 2016 at the Pernambuco's continental shelf, from WWIII through the ERDDAP data server (Raschke e Ardhuin, 2013).

WWIII provide detailed descriptions of wave conditions, however the accuracy is strongly dependent on the wind field input. A validation of WWIII H_s against oceanographic buoy records, obtained at 200 m depth on the Pernambuco's continental shelf, showed a significant correlation ($r=0.86$) and a standard deviation around 0.2 m (Pereira *et al.*, 2015), considered satisfactory for the purpose of this paper.

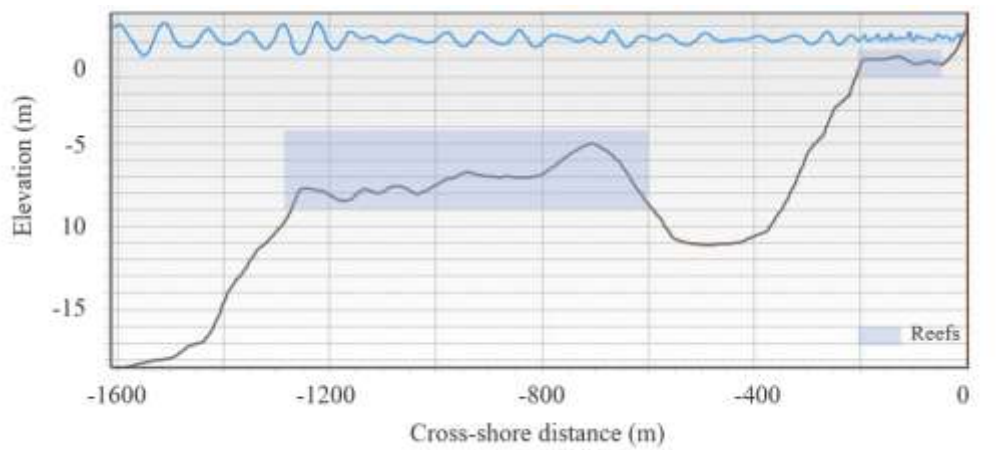
Wave energy, as described before, was calculated every hour for the month preceding the beach profile measurement. The mean value of the upper quartile (the highest 25% of the values) of each period (or the period of highest energy) was calculated to provide a means to compare the temporal variations of mean energy across surveys.

3.4 RESULTS

3.4.1 Wave Dissipation Over Reefs

The model results indicate that wave heights decrease when propagating over the reefs of Pontal do Cupe (Figure 5); therefore, likely to contribute to effective coastal protection.

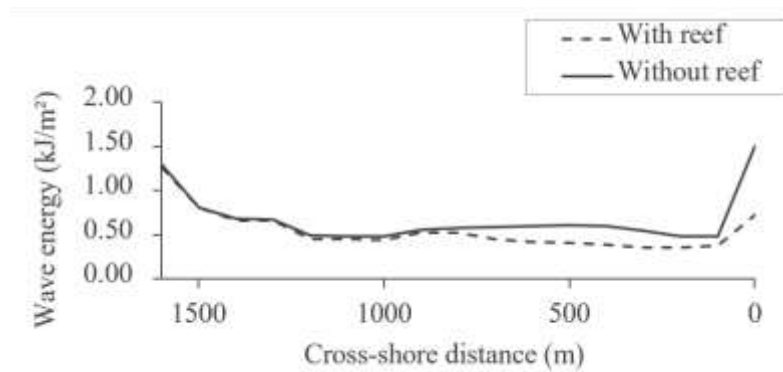
Figure 5. Bathymetric profile, from Cupe Beach, used as input in XBeach, with nearshore reef, and an example of the instantaneous water level result.



Source: the author.

Cross-shore changes in the maximum wave height without and with the nearshore reef are shown in Figure 6. The results show the attenuation of waves height at the nearshore reef. At 30 m from the shore, chainage that marks the end of the reef, differences of H_s reaching up to 1 m between the simulation with and without the nearshore reef. Without the nearshore reef, the wave height continuously increases until it breaks at the terrace, while at the profile with the nearshore reef the wave height continuously decreases until it reaches the beach face (Figure 6).

Figure 6. Wave conditions without the nearshore reef (continuous line) and with the nearshore reef (dashed line), showing the maximum wave height elevation along the cross-shore transect.



Source: the author.

The mean wave energy was calculated based on the highest quartile (25%) extracted from the model outputs. The mean modelled wave energy reaching the coast in simulations without the reef was 1.50kJ/m² (SD 0.13), and while with the reef (the actual bathymetry) was 0.72kJ/m² (SD 0.14). Therefore, the reef contributed to a reduction of 52% of the incoming wave energy.

3.4.2 Profiles Description

Through PCA it was possible to identify seven mean clusters at Pontal do Cupe Beach. These clusters were defined based on the variable's distances at each combination of the top four PCs, which explain 75% of the variability between the profiles (Table 1). The same statistical analysis was tested with two datasets that represents summer and winter situation. Nevertheless, the results were quite like the one found for the entire dataset, for this reason, the profile groups were defined based on the full period.

Table 1. First four principal components and percentage of variance explained.

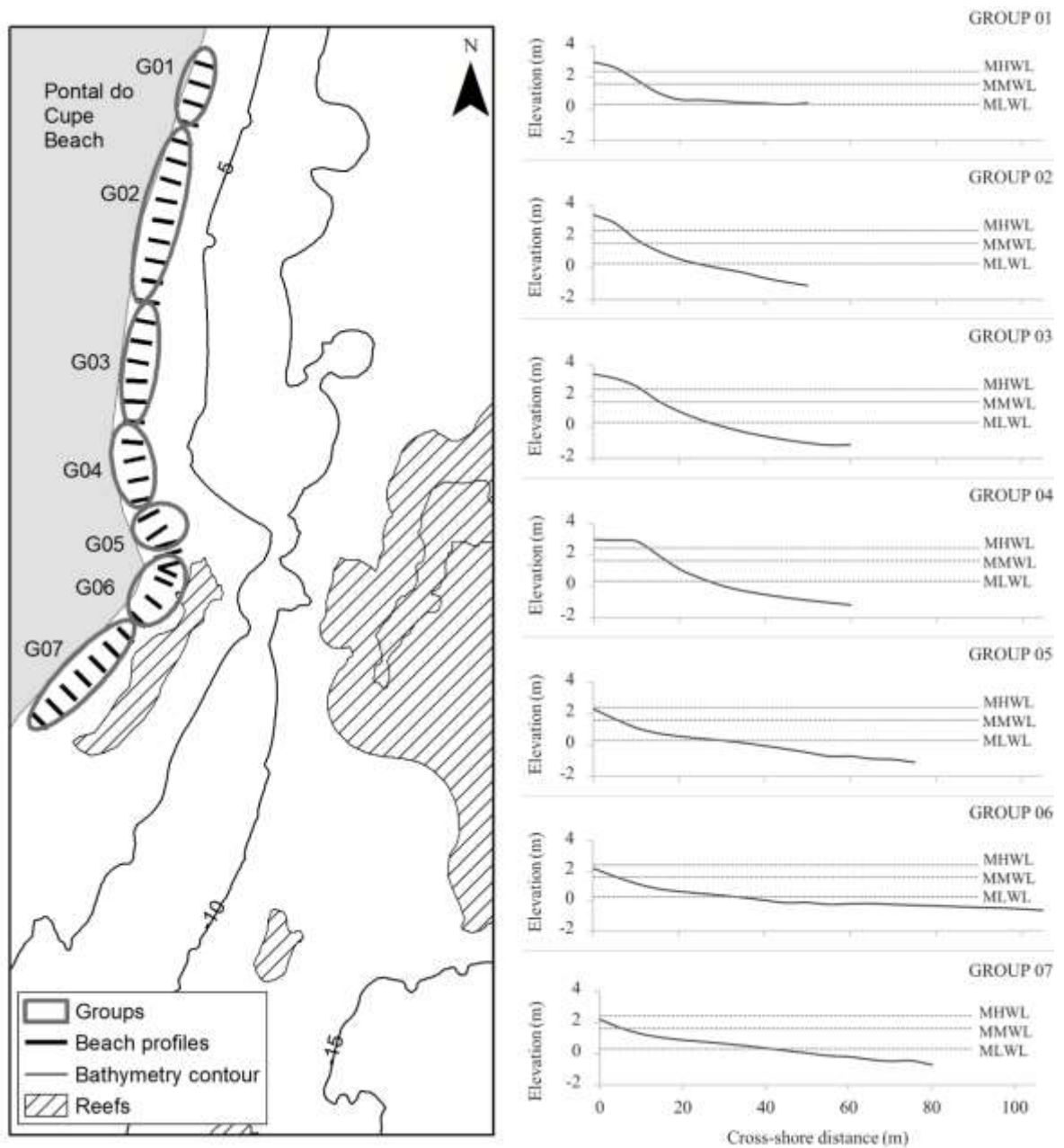
PC	Eigenvalue	% Total	Cumulative
1	64.8	47.3	47.3
2	22.2	16.2	63.5
3	8.9	6.5	70.0
4	6.6	4.8	74.8

Source: the author.

The first PC explains mostly the variation of the first 20m and between chainage 70-80m. The second PC explains the profiles variation between 15-25m (approximately reflecting the mean tidal level) and 60-70m. The third PC explains mainly the variation between the chainage 25-45m. These four PCs evaluated cover most of the beach width (around 90m).

The seven profile groups defined through PCA are mapped in Figure 7 along with beach profiles that represents the morphology groups. Profiles in groups 1 and 2 are relatively free from the reef influence and are exposed to the incident wave climate. Wave diffraction around the reef affects profiles in groups 3 and 4, with the groups 5, 6 and 7 located in the lee of the reef. At profiles group 5,6 and 7 the shoreline is fixed by constructions close to the shore, preventing the natural development of the beach profiles. At these last groups during high spring tide, there is no dry beach (and volume above MHWL is low) as the waterline reaches the constructions (Figure 7).

Figure 7. Groups of profiles from PCA analysis. The left figure shows the location of the profile groups; the right figure shows a representative measurement of the morphology group.



Source: the author.

Group 1: In group 1 the beach morphology behaviour is controlled primarily by the incident waves and secondly by the tide. The profiles present two key features, an upper berm with a steep beach face followed by a low tide terrace, resulting in higher volume within the

upper beach (Table 2). At this area, the wave approaches the coast with a small angle that generates a northward longshore current.

Table 2. Beach profile volumes in the lower (between MLWL and MWL), intermediate (between MWL and MHWL) and upper (above MHWL) beach.

Group	Vol. lower beach (m ³)	Vol. intermediate (m ³)	Vol. upper beach (m ³)
			
G01	23.3	12.1	12.1
G02	12.4	11.7	19.9
G03	11.9	10.9	30.2
G04	12.4	9.1	25.4
G05	19.5	17.7	4.5
G06	24.9	7.9	0.0
G07	22.9	12.3	0.0

Source: the author.

Group 2: Beach response here is mainly controlled by waves with some influence of tides evident in the presence of a low tide terrace in some profiles. Rip currents, cusps and mega-cusps can be present (Mallmann *et al.*, 2014). The morphology below the LWL is less steep than group 1, affecting the distribution of volume across compartments (which can be quite variable between profiles, even though the total volume is similar). The sediment volume tends to be higher at the upper beach.

Group 3 and 4: Wave diffraction around the reef and tides influence the beach morphology. Although the morphology of profiles in groups 3 and 4 are similar, the mean beach elevation in group 3 is higher than in group 4. Both groups show a steep and narrow high tide terrace and a gentle and wide intertidal profile, similar to the morphology observed in other beaches at Pernambuco cost (Pereira, Araujo e Manso, 2016). Sediment volume is higher at the upper beach, as observed also in group 2.

Group 5: The morphology of these beach profiles is primarily controlled by the tide and secondly by wave diffraction around the reef. The beach face is wider, and the low tide terrace is less marked than in the other groups. The profile morphology below the LWL is less steep and the beach elevation lower than in the other groups. As a result, the profile volume is larger at the lower and intermediate beach.

Groups 6 and 7: These beach profiles are located at the lee of the reef, where wave energy dissipation is more pronounced and beach morphology is influenced mainly by tides. Although these two groups show similar beach morphology, the MLWL slope in group 6 is less steep than in group 7. The beach profiles have a gentle slope, with no three-dimensional features, this is the only sector where beach cusps are absent. Constructions are present at the upper beach; therefore, there is no sediment volume stored in this beach compartment.

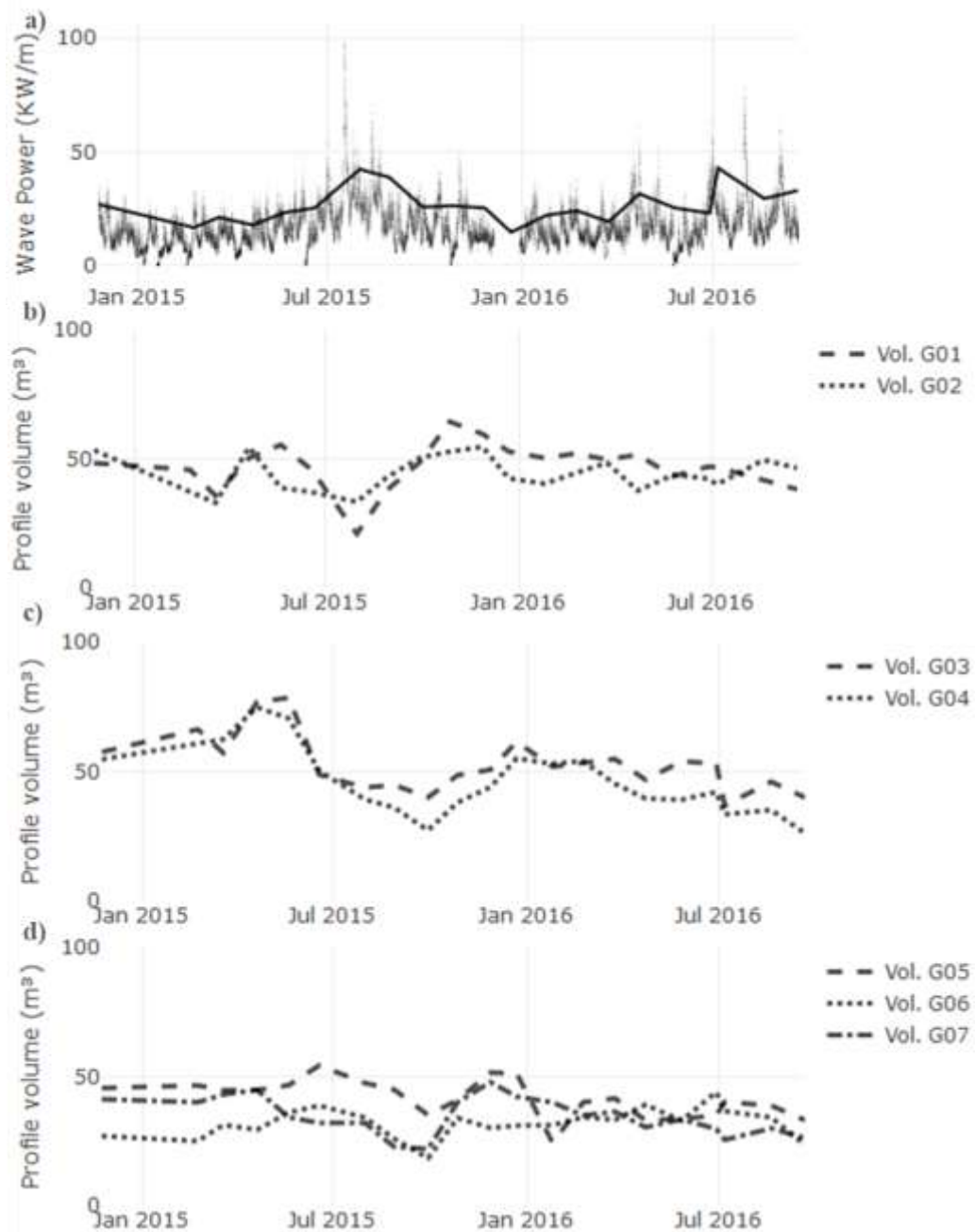
The beach width results presented the same pattern as the beach volume; therefore, the discussion is based just on beach volume.

3.4.3 Temporal Variability

The analysis of temporal variability was based on the mean profile of each group calculated for each survey date. According to the relative standard deviation of beach volumes among the time series, groups 3 and 4 (influenced by wave diffraction) and 5 and 6 (reef protected ones) had lower results of standard deviation; groups 1, 2 and 3 (exposed ones) had intermediate variation, while the group 4, the most influenced by wave diffraction, had the higher value of relative standard deviation. Nonetheless, to all groups, the upper beach was always the most variable section of the beach.

It was found that, for the study area, the waves height was bigger in winter (from June to September) on both years evaluated. The median of the highest quartile gives a good representation of the most energetic waves (Figure 8a). At all groups, the beach volume variations are related to the incident wave energy, presenting the lower volume right after the most energetic wave periods (Figure 8b-d). Resulting in wider beaches during summer period and narrower during winter period.

Figure 8. (a) Wave energy scatterplot chart from WIII full data (points) and highest quartile median offshore wave energy (line); (b) Mean profile volume above MLWL for profile groups 1 and 2; (c) Mean profile volume above MLWL for profile groups 3 and 4; (d) Mean profile volume above MLWL for profile groups 5,6 and 7.



Source: the author.

The highest wave energy conditions observed during the period of study occurred in July 2015 (Figure 8a). Because of this event there was a loss of 54% (from 46 to 21 m³) of the beach volume in group 1 and a loss of 11% (from 39 to 34 m³) in group 6. This difference in

beach variability highlights the coastal protection ecosystem service provided by the reef. The results also showed that the exposed beach loose sediment in a few days after the storm, while the reef protected beaches continued to gradually loose sediment a month after the storm (Table 3).

Table 3. Beach profile volumes of an exposed and a protected beach in a high wave energy period.

Date	Exposed Beach Volume (m ³)	Protected Beach Volume (m ³)
Jun 2015	45.8	38.8
Jul 2015	21.0	34.2
Aug 2015	37.7	25.9
Sep 2015	48.8	18.4
Oct 2015	64.4	34.0

Source: the author.

3.5 DISCUSSION

The wave energy that reaches the coast without the nearshore reef is approximately 50% higher than the energy that reaches the beach face protected by the reef. The transmission of the wave energy from the reef to the shoreline is, also, tidally modulated, with greater wave energy reaching the shoreline at high tide. This trend has been identified in several studies on intertidal reef flats (Beetham e Kench, 2014).

In Pontal do Cupe Beach, where the upper part of the reefs emerges during low tide, the amount of wave energy in their lee is reduced. At high tide the reef flat submerges, which reduce wave dissipation, as also observed for other beach at the Pernambuco's coast (Martins *et al.*, 2017).

The principal components that explains mostly the variation of the profiles and justify the groups stablished are related to hydrodynamical processes. For most of the profiles, the chainage 0-10m (first PC) are above the MHWL, which is mainly influenced by the grain size and the highest waves run up. At chainages around 15m (second PC) occurs the sediment transport between the tidal and backshore region. It highlights the influence of wave process on sediment transport between backshore and dune region (Jovivek *et al.*, 2017). The chainage between 30-70m (third PC) comprises the nearshore zone, in which the wave action yields the breaking waves, longshore current, and littoral transport (Short, 2012).

Following the conceptual model of beach morphodynamic stages influenced by tides (Masselink e Short, 1993), Pontal do Cupe Beach could be classified as reflective during high tide and low tide terrace at low tide, except the profiles at the reef shadow zone, which could be classified as dissipative during high tide.

Wave transformations on reef is responsible for the existing salience on the coast. At such salience, the beach profiles are longer and present less features than those on the exposed beach. The upper beach compartment was the most variable one for all profile groups, in most of the data evaluated the sediment exchange happened within the compartments. The cyclic pattern observed in the Pontal do Cupe Beach give evidence that the beach is in a dynamic equilibrium, though a longer data set would be required to confirm this assumption.

The upper beach the profiles are baked by urban walls, dunes or trees, as coconut trees. At this section the sediment volume was bigger at wave exposed profiles. While the sediment volume at intermediate and lower beach was bigger at beaches modified by the tide (reef-fronted beach) than in those dominated by waves (exposed beach).

The wave energy has a faster effect on exposed profiles (group 1,2 3 and 4) and a lagged effect on protected profiles (5,6 and 7) (Figure 8). According to the relative standard variation of profiles volumes the reef protected groups 5 and 6 proved to be more stable, with less variability through time, than the wave exposed groups. Another study in a Mexican beach fronted by a fringed reef got similar results, where the reef-fronted beaches had less sediment exchange than exposed beaches submitted to the same wave conditions (Alegria-Arzaburu *et al.*, 2013). As observed by Vousdoukas et al. 2007, submerged structures as coral reefs may act as profile controls, affecting considerably the free fluctuation of the beach profiles and diminishing their ability to modify in response to the wave energy that reaches the coast.

The X-Beach 1-D result showed a reduction of the wave energy reaching the reef-fronted coast compared to the exposed one. Despite this, the reef-fronted beaches are less accessible to the sediment transported offshore during storms, therefore it could be the reason for the observed time lagged at the beach recovery after the energetic events evaluated. An example of this situation was presented in Table 3, which describe the sediment volume through time after the most energetic event occurred during the analysed period. A similar conclusion was found in a study relating reefs with spatial and temporal variability of coastal

erosion, where was found that reefs protecting the coast from waves but not necessarily prevents erosion (Gallop *et al.*, 2013).

In this study was evaluate the cross-shore sediment exchange, moving from the upper beach compartment to the lower beach. Nonetheless it is possible to infer that the sediment exchange along the coast happens in two cells, one in the north comprising the exposed profiles, and another cell at the reef-fronted beach. Still, to fully understand the sediment transport further analysis are required.

3.6 CONCLUSIONS

Reefs can have a significant effect on nearshore wave climate and the adjacent beach morphology. At Pontal do Cupe the wave energy that reaches coast without the nearshore reef is approximately 50% higher than the energy that reaches the beach protected by the reef. As in other reef-fronted beaches, in Pontal do Cupe the beach present less three-dimensional features than adjacent areas exposed to waves. It was concluded that the wave exposed beaches are reflective during high tide and have low tide terrace at low tide, while the reef-fronted beaches are dissipative during high tide.

The temporal variability of beach volume proved that the reef-fronted beaches have less net sediment exchange than the exposed beaches, thus the reef is protecting the beach from erosional processes during energetic hydrodynamics conditions. Therefore, it is important to monitor the effects of reef degradation and climate change on wave attenuation.

Knowledge about the morphology of beach profiles on the lee side of reefs may help to improve conceptual beach models that predict change as a function of the wave, tide, and sediment parameters. Better understanding the effects of reefs can be useful to inform policymaking and beach management related to tourism and the coastal protection ecosystem service. Further studies on the temporal evolution of beach profiles could provide a better understanding of reef influence over the coastal morphology.

REFERENCES

ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.

ALBERT, J. A. *et al.* Reaping the reef: Provisioning services from coral reefs in Solomon Islands. **Marine Policy**, v. 62, p. 244–251, 2015.

ALEGRIA-ARZABURU, A. R. *et al.* The role of fringing coral reefs on beach morphodynamics. **Geomorphology**, v. 198, p. 69–83, 2013.

ARAÚJO, M. *et al.* Salinity-induced mixed and barrier layers in the southwestern tropical Atlantic Ocean off the northeast of Brazil. **Ocean Science**, v. 7, n. 1, p. 117–136, 2011.

BARBIER, E. B. *et al.* The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 2, p. 169–193, maio 2011.

BECK, M. W. *et al.* The global flood protection savings provided by coral reefs. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 2186, 2018.

BEETHAM, E. P.; KENCH, P. S. Wave energy gradients and shoreline change on Vabbinfaru platform, Maldives. **Geomorphology**, v. 209, p. 98–110, 2014.

COOPER, N. J.; LEGGETT, D. J.; LOWE, J. P. Beach-profile measurement, theory and analysis: Practical guidance and applied case studies. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management**, v. 14, n. 2, p. 79–88, 2000.

COSTA, M. B. S. F. *et al.* Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318–327, 2016.

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* Geologia Do Quaternário Costeiro Do Estado De Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1–4, p. 208–215, 1990.

FERRARIO, F. *et al.* The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature communications**, v. 5, n. May, p. 3794, 2014.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: situação e perspectivas**. [s.l.: s.n.].

GALLOP, S. L. *et al.* Rock topography causes spatial variation in the wave, current and beach response to sea breeze activity. **Marine Geology**, v. 290, n. 1–4, p. 29–40, 2011.

____. The influence of coastal reefs on spatial variability in seasonal sand fluxes. **Marine Geology**, v. 344, p. 132–143, 2013.

JOEVIVEK, V. *et al.* Spatial and temporal correlation between beach and wave processes: implications for bar–berm sediment transition. **Frontiers of Earth Science**, v. 12, n. 2, p. 349–360, 2017.

LEMKE, L.; MILLER, J. K. EOF analysis of shoreline and beach slope variability at a feeder beach constructed within a groin field at Long Branch, New Jersey. **Coastal Engineering**, v. 121, n. November 2016, p. 14–25, 2017.

MALLMANN, D. *et al.* Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169–190, 2014.

MARTINS, K. A. *et al.* The Influence of Climate Change on Coastal Erosion Vulnerability in Northeast Brazil. **Coastal Engineering Journal**, v. 59, n. 2, p. 1740007-1-1740007–25, 2017.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785–800, 1993.

MEHTA, V. M. *et al.* Decadal Variability of the Tropical Atlantic Ocean Surface Temperature in Shipboard Measurements and in a Global Ocean-Atmosphere Model. **Journal of Climate**, v. 8, n. 2, p. 172–190, 1995.

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215–233, 1999.

PEREIRA, P. S. *et al.* **Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco**. Recife: [s.n.].

PEREIRA, P. S.; ARAUJO, T. C.; VAZ MANSO, V. A. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: FINKL, C. W. (Ed.). **Brazilian Beach Systems**. Florida: Springer, 2016. p. 251–279.

RASCLE, N.; ARDHUIN, F. A global wave parameter database for geophysical applications. Part 2: Model validation with improved source term parameterization. **Ocean Modelling**, v. 70, p. 174–188, 2013.

ROELVINK, D. *et al.* XBeach model description and manual. **Unesco-IHE Institute for Water Education**, p. 106, 2010.

SHORT, A. D. Australian Beach Systems-Nature and Distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 11–27, 2006.

SHORT, A. D. Coastal Processes and Beaches. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 1–15, 2012.

SHORT, A. D.; TREMBANIS, A. C. Decadal Scale Patterns in Beach Oscillation and Rotation Narrabeen Beach, Australia—Time Series, PCA and Wavelet Analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 202, p. 523–532, 2004.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III** version 3.14 **Technical note**, 2009.

USACE. Part II: Chapter 1 - Water Wave Mechanics. *In*: MIRBILEK, Z. (Ed.). . **Coastal engineering manual, Part II, Coastal Hydrodynamics**. Washington, DC: [s.n.]. p. 1–172.

VOUSDOUKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth-Science Reviews**, v. 85, n. 1–2, p. 23–46, 2007.

ZANTEN, B. T. V. VAN; BEUKERING, P. J. . VAN; WAGTENDONK, A. J. Coastal protection by coral reefs: A framework for spatial assessment and economic valuation. **Ocean and Coastal Management**, v. 96, p. 94–103, 2014.

4 VALOR ECONÔMICO DA PROTEÇÃO COSTEIRA

4.1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a melhoria de qualidade de vida da sociedade humana estão intimamente ligados ao bem-estar das pessoas, sendo que o bem-estar pode ser relacionado ao conceito de capital (Ruggeri, 2009). Os cinco capitais são:

- Capital financeiro (dinheiro ou seus substitutos);
- Capital manufaturado (construções, estradas, fábricas);
- Capital humano (esforços individuais e coletivos; capacidades humanas);
- Capital social (instituições, relações sociais, tradições culturais e religiosas) e;
- Capital natural, que é o estoque dos recursos naturais que geram um fluxo de benefícios.

Para o setor da economia ecológica o capital natural se apresenta nas seguintes categorias: capital natural renovável (espécies vivas e ecossistemas); capital natural não renovável (por exemplo petróleo e minérios) e capital natural reciclável (por exemplo os gases da atmosfera, água e solos) (Costanza *et al.*, 1997).

O modelo dos cinco capitais aponta para a necessidade de se proteger o capital natural e buscar, sempre que possível, mutuamente otimizar os aspectos econômicos, sociais e ambientais, e quando isso não for viável, almejar a minimização de danos potenciais ao ambiente, às pessoas e suas comunidades (Ruggeri, 2009). Uma ferramenta que auxilia no planejamento de uso do capital natural é a atribuição de valores econômicos para os SEs gerados pelos ecossistemas (Fisher, Bateman e Turner, 2011). Entretanto, a valoração de SEs deve ser utilizada com cautela, juntamente com valores sociais, que definem, do ponto de vista cultural, o quanto a sociedade valoriza determinado serviço ecossistêmico (SE). SEs são definidos como o resultado das funções dos ecossistemas traduzidas em bem-estar humano (Kumar, 2010; Groot, *et al.*, 2012; Costanza *et al.*, 2017).

A qualidade e a quantidade da provisão de SEs variam no tempo e no espaço. Esta variação ocorre em função do grau de conservação do ecossistema, da qualidade ambiental do entorno e de como variam ao longo do tempo, seja devido a processos naturais, como sazonalidades, ou antrópicos, como por exemplo, alteração na geomorfologia, no uso do solo, dragagens, construções, atividades extrativas (Schägnier *et al.*, 2013). As mudanças climáticas

podem afetar a provisão do SE de proteção costeira devido a alteração na qualidade das águas dos oceanos, causando o branqueamento e morte dos corais, que são os organismos construtores dos recifes, além de causar uma maior frequência de tempestades, aumento na altura das ondas incidentes na costa e aumento do nível do mar (Cesar, Burke e Pet-soede, 2003).

Adicionalmente, o valor dos SEs varia também em função do tipo e intensidade dos usos e sua importância relativa para a população local e para os grupos ou setores que se beneficiam dos serviços. A valoração dos SEs em escala local envolve integração de aspectos sociais, econômicos e físicos do ambiente. Os resultados de uma valoração variam em função dos parâmetros utilizados da escala espacial, temporal, da especificidade dos ambientes em questão, e dos objetivos propostos (Schägner *et al.*, 2013; Villa *et al.*, 2014). Atribuir valor aos SEs dá suporte a programas de conservação ambiental, de adaptação às mudanças climáticas e de pagamento por serviços ambientais. Nesse contexto, valorar implica em dar subsídios, por exemplo, à alocação de recursos públicos para programas ambientais visando a sustentabilidade social, econômica e ambiental das áreas costeiras (Fisher, Bateman e Turner, 2011).

Os ecossistemas costeiros fornecem importantes serviços de estabilização da linha de costa (Prasetya, 2006). Os recifes de coral dissipam a energia das ondas e das tempestades e criam lagoas e ambientes sedimentares favoráveis ao crescimento de manguezais e pradarias submersas. Por sua vez, os manguezais e as pradarias submersas ajudam a aprisionar sedimentos próximo da costa, reduzindo a erosão costeira e diminuindo a turbidez da água do mar, favorecendo, com isso, os recifes (Burke e Maidens, 2004).

Diversos estudos têm buscado atribuir um valor econômico para ecossistemas recifais (WRI, 2004). O valor dos benefícios econômicos derivados de recifes no mundo foram estimados entre 10 e 60 trilhões US\$/km²/ano, sendo a maior parte associada ao turismo seguido por serviços de estabilização da costa (Costanza *et al.*, 1997; Ploeg, Van der e Groot, De, 2010). Desde a publicação de Costanza *et al.* (1997) sobre valoração de SEs globais, o número de trabalhos sobre esse tema tem aumentado consideravelmente (Schägner *et al.*, 2013). A importância da valoração de SEs reside no fato de criar um valor de referência para o mercado econômico, promovendo o desenvolvimento sustentável (Silva e Lima, 2004). O valor do serviço ambiental pode ser definido por atributos relacionados à própria existência do

recurso (valor de existência) e por atributos de bens e serviços associados ao consumo (valor de uso) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação do valor econômico do recurso ambiental.

Valor de Uso		Valor de Não-Uso	
Valor de Uso Direto	Valor de Uso Indireto	Valor de Opção	Valor de Existência
Bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumidos hoje.	Bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas apropriados e consumidos indiretamente hoje.	Bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro.	Valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruísticas.
Provisão de recursos básicos: Alimentos, medicamentos, não madeireiros, nutrientes, turismo. Usos: Recreação Recursos genéticos de plantas.	Fornecimento de suportes para as atividades econômicas e bem-estar humano: Proteção dos corpos d'água, estocagem e reciclagem de lixo. Manutenção da diversidade genética e controle da erosão. Provisão de recursos básicos: oxigênio, água.	Preservação de valores de uso direto e indireto.	Natureza como objetos de valor intrínseco. Valores culturais, religiosos e históricos.

Fonte: Adaptado de Motta (1997).

O presente estudo estimou o valor do serviço de proteção costeira oferecido pelos recifes no litoral do município de Ipojuca. O valor foi calculado em função do possível custo monetário envolvido na destruição das casas caso houvesse a perda do serviço, para isso foi usado como parâmetro o preço de mercado de imóveis nas praias de Ipojuca.

4.2 OBJETIVO

4.2.1 Objetivo geral

Atribuir valor econômico para o SE de proteção costeira exercido pelos recifes de coral de Ipojuca.

4.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar a área de Ipojuca que está na zona de proteção dos recifes;
- Estimar o preço médio dos imóveis localizados na área protegida e calcular o valor total da área protegida, com base no preço dos imóveis;
- Gerar a valoração do SE de proteção costeira em Ipojuca;
- Avaliar a relevância desse SE para a comunidade local;
- Comparar o valor da proteção costeira em Ipojuca com outros locais.

4.3 ÁREA DE ESTUDO

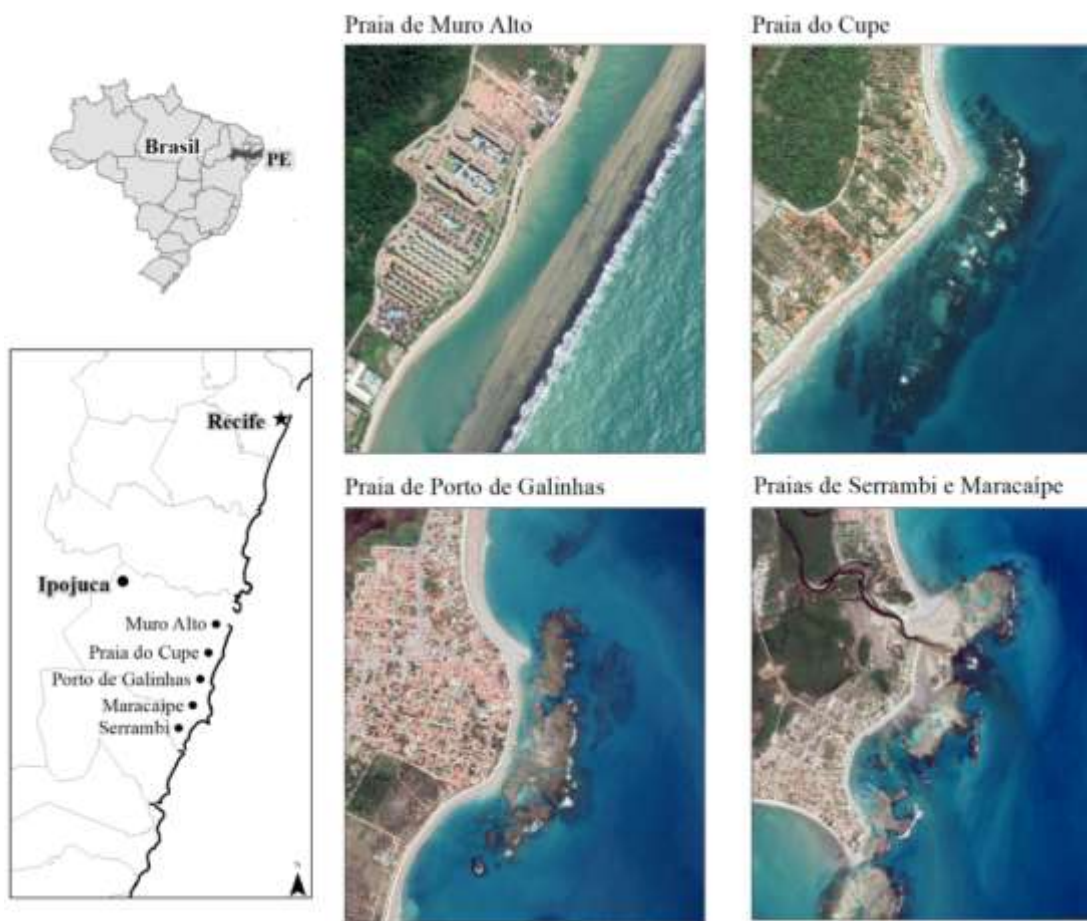
Os recifes da região de Ipojuca são associados a bancos de arenito geralmente paralelos à costa (Dominguez *et al.*, 1990) (Figura 1). O município de Ipojuca encontra-se localizado acerca de 49 km do Recife, fazendo limites com Cabo de Santo Agostinho ao norte, Sirinhaém ao sul, Oceano Atlântico a leste e Escada a oeste. O litoral de Ipojuca é composto pelas praias de Muro Alto, Cupe, Porto de Galinhas, Serrambi e Maracaípe (Figura 2).

Figura 1. Vista aérea dos recifes de Serrambi em Ipojuca, PE - Brasil.



Fonte: Arquivo SEMAS, 2016.

Figura 2. Localização da área de estudo em Ipojuca, PE - Brasil.



Fonte: a autora; imagens de satélite *GoogleEarth®*.

O turismo na região intensificou-se a partir da década de 1970 e, consequentemente, atraiu maiores investimentos na infraestrutura da região. No verão, entre os meses de novembro e março, os índices de ocupação são superiores às demais praias do litoral do estado de Pernambuco (Sarmiento e Santos, 2012). O maior atrativo de Ipojuca é a praia de Porto de Galinhas, a praia com maior afluência turística de Pernambuco e listada como uma das melhores praias do Brasil (Viagem e Turismo, 2010). Porto de Galinhas recebeu em 2018 mais 1,2 milhão de turistas (Santos, 2018), enquanto na capital do estado, Recife, no mesmo ano, recebeu cerca de 8 milhões de visitantes (Folha de Pernambuco, 2018).

A presença dos recifes em frente ao litoral de Ipojuca gera saliências na costa, que são resultado da deposição de sedimentos na praia em decorrência da dissipação da energia de ondas que atingem a costa. Já foi constatado em diversos estudos que praias protegidas por

recifes sofrem menor impacto de ondas, e têm também menores taxas de erosão, e maior facilidade de recuperação depois de um evento extremo (Gallop *et al.*, 2012).

4.4 MÉTODO

Para realizar a valoração foram realizados os seguintes passos: classificação dos SEs; definição do método de valoração; delimitação da área emersa protegida e área de recifes; definição do preço da área protegida; e finalmente a valoração. O resultado da valoração está expresso como um preço anual por quilômetro quadrado do ecossistema recifal.

4.4.1 Classificação dos serviços ecossistêmicos

O valor de um serviço ecossistêmico é a expressão monetária dos benefícios obtidos de sua provisão do ponto de vista pessoal de cada indivíduo. Tais benefícios podem ser utilizados através do uso direto ou indireto. O uso direto é mensurado pelo valor de uso; já o valor de uso indireto é medido por meio do valor de opção e do valor de existência (Pearce e Turner, 1991).

O valor de SEs pode ser definido por atributos relacionados à própria existência do recurso (valor de existência) e por atributos de bens e serviços associados ao consumo (valor de uso). Os 22 SEs identificados nos recifes da área de estudo foram classificados quanto ao valor de uso direto, de uso indireto ou existencial de acordo com as descrições apresentadas na Tabela 1.

4.4.2 Métodos de valoração

O valor do SE pode ser definido por atributos relacionados à própria existência do recurso (valor de existência) e por atributos de bens e serviços associados ao consumo (valor de uso) (Figura 3).

Figura 3. Métodos para valoração de serviços ecossistêmicos.



Fonte: adaptado de (Motta, 1997).

O SE de proteção costeira se classifica como um SE de uso indireto. O valor econômico da proteção costeira pode ser calculado objetivamente de duas maneiras: através do custo de reposição de obras que exerçam a mesma função dos recifes, ou através do método do custo evitado (MCE), que são métodos baseados no mercado de bens substitutos (Figura 3). No caso do método do custo evitado, se refere por exemplo à prevenção de danos com erosão costeira, inundação e perda de território (Motta, 1997; Troy e Wilson, 2006; Fisher, Bateman e Turner, 2011). Algumas características principais do método do custo evitado são (Castro e Nogueira, 2019):

- Facilmente adaptável a diferentes tipos de SEs;

- Os resultados podem ser comparados com outras abordagens baseadas em custos, que assumem implicitamente os danos que vale a pena evitar;
- Cálculo relativamente fácil, pois os custos são baseados com preços de mercado;
- Proporciona uma aproximação dos prejuízos econômicos que poderão ser causados caso haja uma alteração do recurso ambiental;
- Não envolve pesquisa de campo, logo é menos dispendioso;

Apesar de possuir diversas vantagens, o MCE possui uma difícil interpretação de seu valor, pois suas estimativas não se baseiam no valor associado a mudanças na qualidade ou quantidade do SE, mas no custo de se evitar a perda; isso significa que o valor real do dano é subestimado pois não incorpora informações sobre as consequências do dano ambiental.

O MCE estima o máximo valor monetário que poderia ser gasto para evitar que o dano ambiental ocorresse ou que suas consequências pudessem afetar o bem-estar humano. Para se chegar a tal valor foram usados os valores de mercado de terrenos e imóveis na região. Para realizar o MCE é necessário determinar as categorias de danos decorrentes de erosão costeira e inundação (Messner *et al.*, 2007). Nesse estudo a valoração focou nos danos diretos e tangíveis, que são os danos a ativos físicos, neste caso são as edificações. Existem também os danos indiretos, como perda de produção industrial e agrícola, perda de receita do turismo devido ao fechamento temporário de hotéis, a perda de vidas ou aumento da vulnerabilidade da população, que são muito importantes, mas geralmente é difícil encontrar dados precisos e não foram considerados neste estudo.

4.4.3 Método do custo evitado

Foi avaliado o custo total de reparo de danos baseado no valor médio de construção. Para isso foi considerado um percentual padrão, em todos os imóveis, de 65% do ativo total, o que corresponde ao mesmo valor utilizado em diversos estudos (Bolt, Ruta e Sarraf, 2005; Messner *et al.*, 2007; Pagiola e Bishop, 2004; Pascal *et al.*, 2016). Em outras palavras, a valoração do SE de proteção costeira foi baseada na destruição que ocorreria durante um evento de inundação, correspondendo a um custo de restauração dos danos equivalente a 65% do valor inicial dos imóveis.

4.4.4 Delimitação da área emersa protegida

Foi delimitada uma linha reta entre o costão rochoso de Cabo de Santo Agostinho, limite norte de Ipojuca, e o Rio Sirinhaém, limite sul de Ipojuca. Foi assumido que essa linha reta seria a configuração da praia caso não houvesse a presença dos recifes no litoral. A área entre essa linha reta e a atual linha de costa (Martins *et al.*, 2016), foi definida como a área total que está sendo protegida pelos recifes de Ipojuca.

A malha urbana existente dentro da área protegida foi vetorizada no software *ArcGis*® 10.3.1.³. A vetorização foi realizada com base em imagens de satélite de 2018 disponibilizadas pelo *GoogleEarth*®⁴ juntamente com informações da base de dados *OpenStreetMap*®⁵.

4.4.5 Definição da área coberta por recifes

A área dos recifes é importante para calcular quanto cada unidade de área do ambiente recifal protege na costa. Se considerarmos linear a relação entre área do ecossistema *versus* valor do serviço então, por exemplo, a metade dos recifes exerceria um SE que equivale a 50 % do valor desse SE.

A área de cobertura dos recifes foi delimitada manualmente no *GoogleEarth*® através da identificação visual. Para a região em frente à Praia do Cupe existem dados de batimetria, e estes foram usados para complementar os resultados de área vetorizados com base nas imagens de satélite.

4.4.6 Definição do preço da área protegida

Os preços de venda das construções na área protegida pelos recifes foram obtidos de duas fontes: preço de venda de imóveis em imobiliárias e de dados do Sindicato da Indústria da Construção – SINDUSCON. A principal diferença entre as informações é que o dado de imobiliária é o preço médio de oferta de imóveis que estão à venda, enquanto o dado do SINDUSCON é o preço de vendas finalizadas na praia de Muro Alto (Muro Alto é a única

³ ESRI 2011. *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

⁴ GOOGLE. *Google Earth Pro. Version 7.3*. Disponível em: www.google.com.br/earth.

⁵ Fundação OpenStreetMap. Disponível em: www.openstreetmap.org. Acessado em setembro de 2019.

praia de Ipojuca que faz parte dos relatórios do SINDUSCON). As duas fontes de dados foram comparadas para assegurar-se da confiabilidade dos dados.

Foram consultadas seis imobiliárias⁶ para coletar o preço de venda de casas e apartamentos distribuídos ao longo da área protegida. Com base nos resultados foram definidos setores na área protegida com diferentes valores de oferta de imóveis, sendo que a soma das áreas de cada setor multiplicado pelo preço representativo dele, resultou no preço total da área protegida.

As informações do SINDUSCON apresentam dados mensais das construtoras e incorporadoras mais expressivas da região da praia de Muro Alto em Ipojuca. Os dados disponíveis nos relatórios são referentes a preços de venda de imóveis por área (R\$/m²). Além do preço de venda, o SINDUSCON também apresenta um Índice de Velocidade de Venda Total (IVV-Total) do mercado imobiliário. Esse índice mostra a relação entre número de oferta de imóveis e número de vendas realizadas, o que permite inferir sobre a popularidade do local.

4.4.7 Valoração do SE de proteção costeira

A estimativa do valor econômico dos SE de proteção costeira será apresentado como valor por km² por ano (US\$/km².ano), que representa o valor de uma área do ecossistema recifal de 1 km² por ano. Foi assumido um percentual de 65% de custo de reparação de destruição dos imóveis ocorridos durante um evento de alta inundação, considerando um período de 100 anos.

A taxa para conversão de moedas do real para dólar internacional seguiu o câmbio vigente no período de coleta de dados, ou seja, a taxa média de conversão do dólar americano do ano de interesse, que neste estudo foi 2018 (Khamis, 1984) (Tabela 2). O valor de SE de proteção costeira foi calculado como mostra a equação a seguir:

⁶ Imóveis disponíveis para venda em novembro de 2019 nos sites:
www.vivareal.com.br
www.storiaimoveis.com.br
www.imovelweb.com.br
www.zapimoveis.com.br
www.vivalocal.com
www.imoveis.mitula.com.br

$$V = \frac{(\sum(P * AP)) * C}{AR * TC} / t$$

Na qual,

V é o valor final do serviço ecossistêmico em (US\$/km²/ano);

P é o preço dos imóveis por área;

AP é a área construída;

C é o custo de reparação dos imóveis;

AR é a área dos recifes na região;

TC é a taxa de câmbio;

t é o tempo de recorrência de eventos que causariam inundação/erosão na praia.

Tabela 2. Preço médio mensal do dólar em 2018.

Período	Câmbio
Janeiro	R\$ 3,21
Fevereiro	R\$ 3,24
Março	R\$ 3,28
Abril	R\$ 3,41
Maio	R\$ 3,63
Junho	R\$ 3,78
Julho	R\$ 3,82
Agosto	R\$ 3,93
Setembro	R\$ 4,11
Outubro	R\$ 3,76
Novembro	R\$ 3,79
Dezembro	R\$ 3,88
Média anual	R\$ 3,65

Fonte: Banco Central do Brasil – BCB.

Para esse cálculo foi considerado a taxa de desconto igual a 0, ou seja, sem projeção de aumento futuro no preço dos imóveis em Ipojuca.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Classificação dos SEs

Os SEs existentes na área de estudo, foram classificados como serviços com valor de uso direto, de uso indireto e de valor de existência, de acordo com (Motta, 1997) (Tabela 3). No caso dos serviços de uso direto é simples identificar os benefícios e quem usufrui deles. Já no caso de serviços de uso indireto ou valor de existência essa relação entre os usuários e os benefícios é menos óbvia. Por exemplo, a possibilidade de recreação, um SE com valor de uso direto, é rapidamente associado a beneficiários como os turistas, comunidade local ou agentes de turismo, cujos salários dependem da existência e qualidade de tal SE. Esse SE poderia ser valorada por meio de métodos indiretos como disposição a pagar (Figura 3).

Tabela 3. Serviços ecossistêmicos disponíveis nos recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

SERVIÇO ECOSSISTÊMICO	
VALOR DE USO DIRETO	Recreação esportiva
	Estoque pesqueiro (peixes, crustáceos e moluscos)
	Local usado para projetos de conservação, educação ambiental
	Local de especial interesse científico
	População de peixes de interesse ornamental e outros fins
	Depósito de calcário
	Macroalgas disponíveis para coleta
VALOR DE USO INDIRETO	Fundos de algas e recifes de coral que contribuem para a proteção costeira
	Biorremediação de resíduos domésticos e industriais
	População animal e vegetal como banco genético
	Dispersão de gametas
VALOR DE EXISTÊNCIA	Corais, peixes, e outras espécies que podem ser apreciados por observadores da vida selvagem
	Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida
	Espécies ou aspectos do ambiente que têm significado espiritual

Fonte: a autora.

Por outro lado, a dispersão de gametas, por exemplo, é um SE de uso indireto, e apesar de ser de fácil identificação é necessário refletir mais para compreender quem são os beneficiários desse serviço e como poderia ser valorado. Neste caso os beneficiários do SE

são a comunidade em geral e os agentes de turismo, que se beneficiam pelo atrativo que a biodiversidade desperta nas pessoas. Uma forma de valorar esse SE seria através do método do custo de reposição. Este baseia-se nos custos estimados para reposição, restauração ou substituição da quantidade ou da qualidade de um serviço ecossistêmico. Em outras palavras, seria o custo para efetuar o repovoamento artificial das espécies do ambiente recifal.

A prática de valorar SEs requer muito cuidado, pois o intuito desse método não é atribuir um valor de venda para o meio ambiente. E sim mostrar a relevância dos ecossistemas na manutenção do bem-estar humano. A classificação de SEs apresentada mostra que o SE “Fundos de algas e recifes de coral que contribuem para a proteção costeira” é de uso indireto e pode ser valorado pelo método do custo evitado proposto na metodologia.

4.5.2 Área emersa protegida e área de recifes

A área total protegida pelos recifes somou 20 km², sendo que desta área, atualmente 7,3 km² fazem parte da malha urbana com cerca de 2,5 km² de área construída, enquanto o restante da área é coberto por corpos d’água e áreas úmidas como cursos de rios, lagoas e principalmente manguezais (Figura 4). Ao reduzir a energia das ondas, os recifes de Ipojuca protegem a praia e possibilitam o desenvolvimento de outros ecossistemas costeiros, como os manguezais, que, por sua vez, também provêm diversos SEs, como já demonstrado por Moberg e Rönnbäck (2003) em praias tropicais.

Figura 4. Foto, acima, dos recifes de Maracaípe dissipando energia das ondas e, abaixo, do Rio Maracaípe desaguando no mar, margeado por manguezais e áreas alagadas.

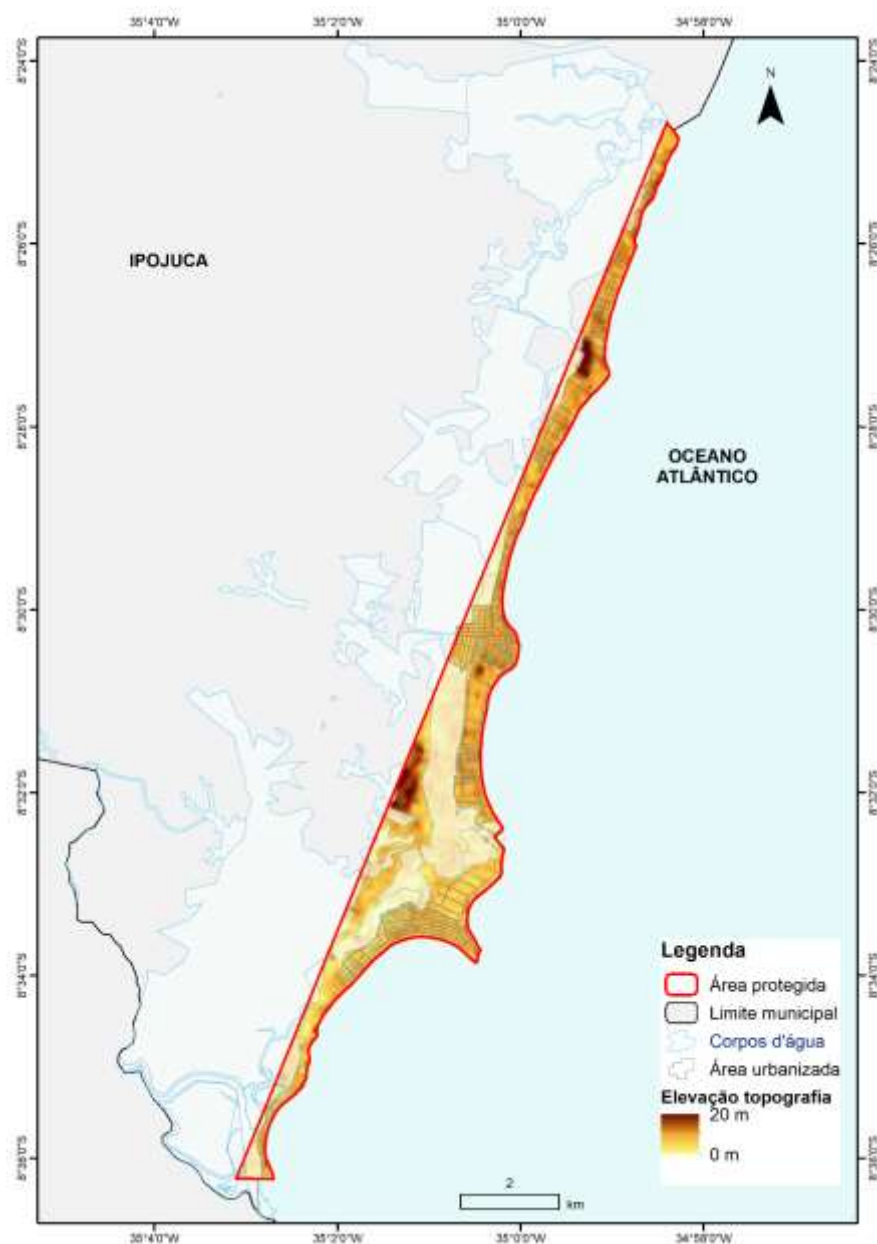


Fonte: Arquivo SEMAS, 2016.

Dados de altitude disponíveis na plataforma Topodata⁷ mostram que na área protegida por recifes a média da altitude é de 3,3 m, ou seja, níveis baixos, próximos ao nível do mar (Figura 5).

⁷ Topodata – Banco de dados geomorfológicos do Brasil. Disponível em: www.dsr.inpe.br/topodata.

Figura 5. Cotas altimétricas da topografia na área protegida pelos recifes em Ipojuca, PE - Brasil.



Fonte: a autora.

Com base nas projeções globais do último relatório do IPCC, o nível médio do mar pode aumentar ao longo do século entre 0,26m e 0,55m em um cenário otimista e entre 0,45m e 0,82m no pior cenário (IPCC, 2013). Um recente estudo avaliou o efeito do aumento do nível do mar global em relação a inundações, e concluiu que até 2050 pelo menos 300

milhões de pessoas estarão sob risco de inundações crônicas em todo o mundo (Kulp e Strauss, 2019).

Considerando um cenário hipotético em que todos os recifes de uma praia desaparecem, as áreas adjacentes poderiam sofrer um nível de inundação de até 2,3 m em regiões que contam com a proteção de recifes rasos e densos (Van Zanten *et al.*, 2014). Como foi mostrado no capítulo anterior, os recifes de Ipojuca dissipam cerca de 50 % da energia que atinge as praias. Num caso de elevação do nível do mar associado com uma taxa de crescimento dos recifes inferior ao aumento do nível do mar, a capacidade de dissipação de energia diminuiria significativamente.

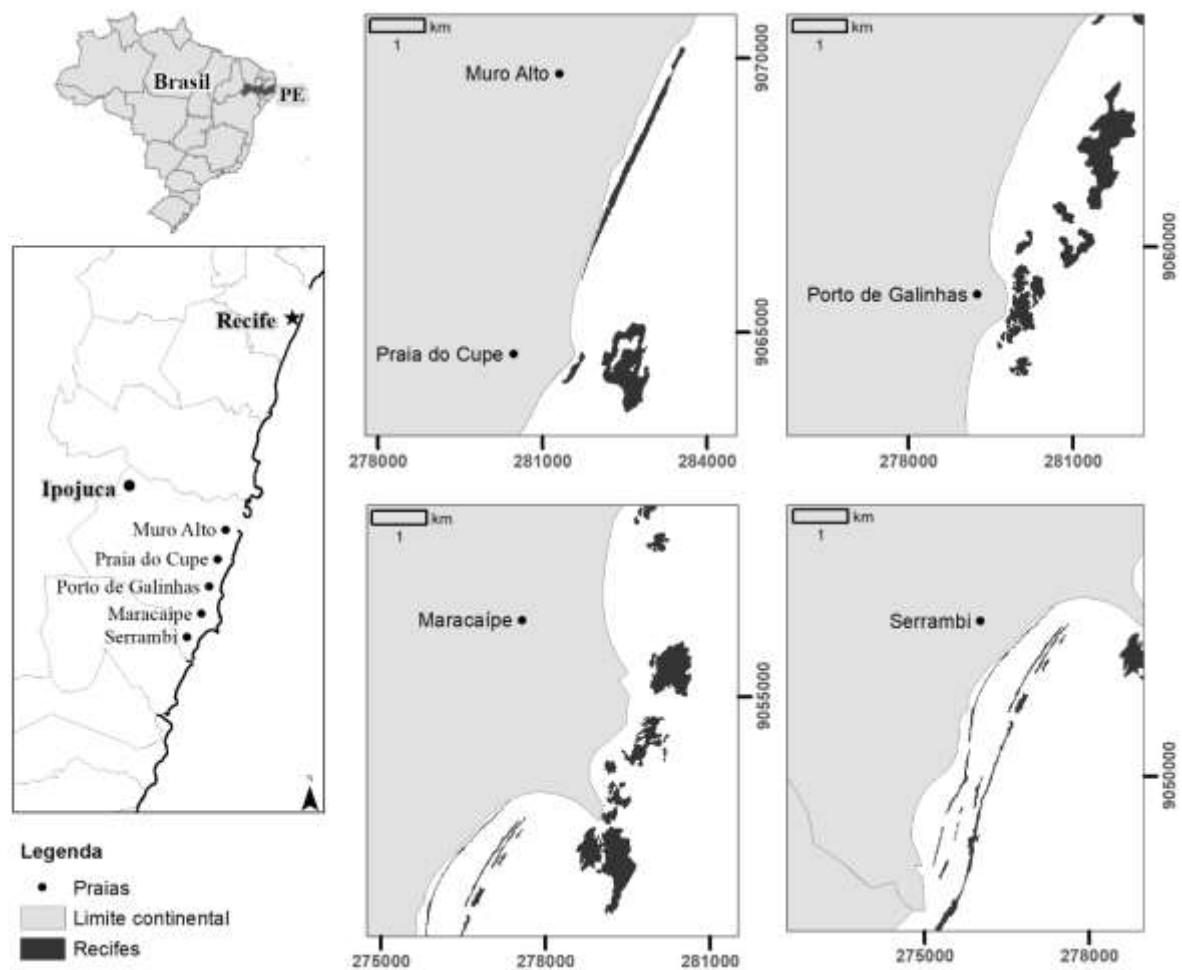
A *Palythoa caribaeorum*, uma espécie de coral construtor de recifes presente nos recifes de Ipojuca, cresce em média 0,018 cm/dia. Isso significa que, por ano, um recife formado por essa espécie poderia crescer até 6 cm (Silva *et al.*, 2015). O mesmo estudo constatou que a taxa de cobertura dessa espécie nos recifes de Ipojuca é menor em áreas mais visitadas por turistas. Pode-se inferir que, se inserida em um ecossistema saudável, essa espécie teria capacidade genética para acompanhar a elevação do nível do mar e promover a manutenção o SE de proteção costeira. Entretanto, além do aumento do nível do mar, outros parâmetros podem ser alterados no próximo século, como o pH da água, a temperatura, saturação de oxigênio, entre outros (Brierley e Kingsford, 2009).

Além dos fatores relacionados às mudanças climáticas, outros fatores podem influenciar a capacidade dos recifes de prover o SE de proteção costeira, que são os estressores que causam danos à estrutura dos recifes como pesca realizada com bomba, com rede de arrasto, ancoragem sobre os recifes e pisoteio pelos turistas. Para diminuir a destruição dos recifes por esses estressores é necessário elaborar e implementar medidas de conservação do meio ambiente. A valoração do SE permite que os gestores públicos avaliem qual o investimento seria viável de se utilizar para o desenvolvimento e execução de planos de manejo e uso sustentável dos recifes.

A área de cobertura dos recifes na região em frente ao litoral de Ipojuca é de aproximadamente 5,5 km² (Figura 6). Isso significa que um recife de 5,5 km² contribui na estabilidade de pelo menos 20 km² de zona costeira. A área calculada de cobertura dos recifes pode estar subestimada pela dificuldade na identificação de recifes profundos em imagens de satélite, e também pela influência da altura da maré no momento da aquisição das imagens. Por isso o valor apresentado nesse estudo é uma aproximação da área de cobertura dos recifes,

que pode ser maior se existir bancos de recifes de maior profundidade que não ficam visíveis nas imagens de satélite. Infelizmente, não foi possível realizar um levantamento de dados batimétricos, que permitiria identificar todos os bancos de recifes esta coleta de dados, entretanto para o objetivo deste estudo é suficiente conhecer a ordem de grandeza da área de cobertura dos recifes.

Figura 6. Área coberta por recifes de baixa profundidade no litoral de Ipojuca, PE - Brasil.



Fonte: a autora.

4.5.3 Área protegida pelos recifes

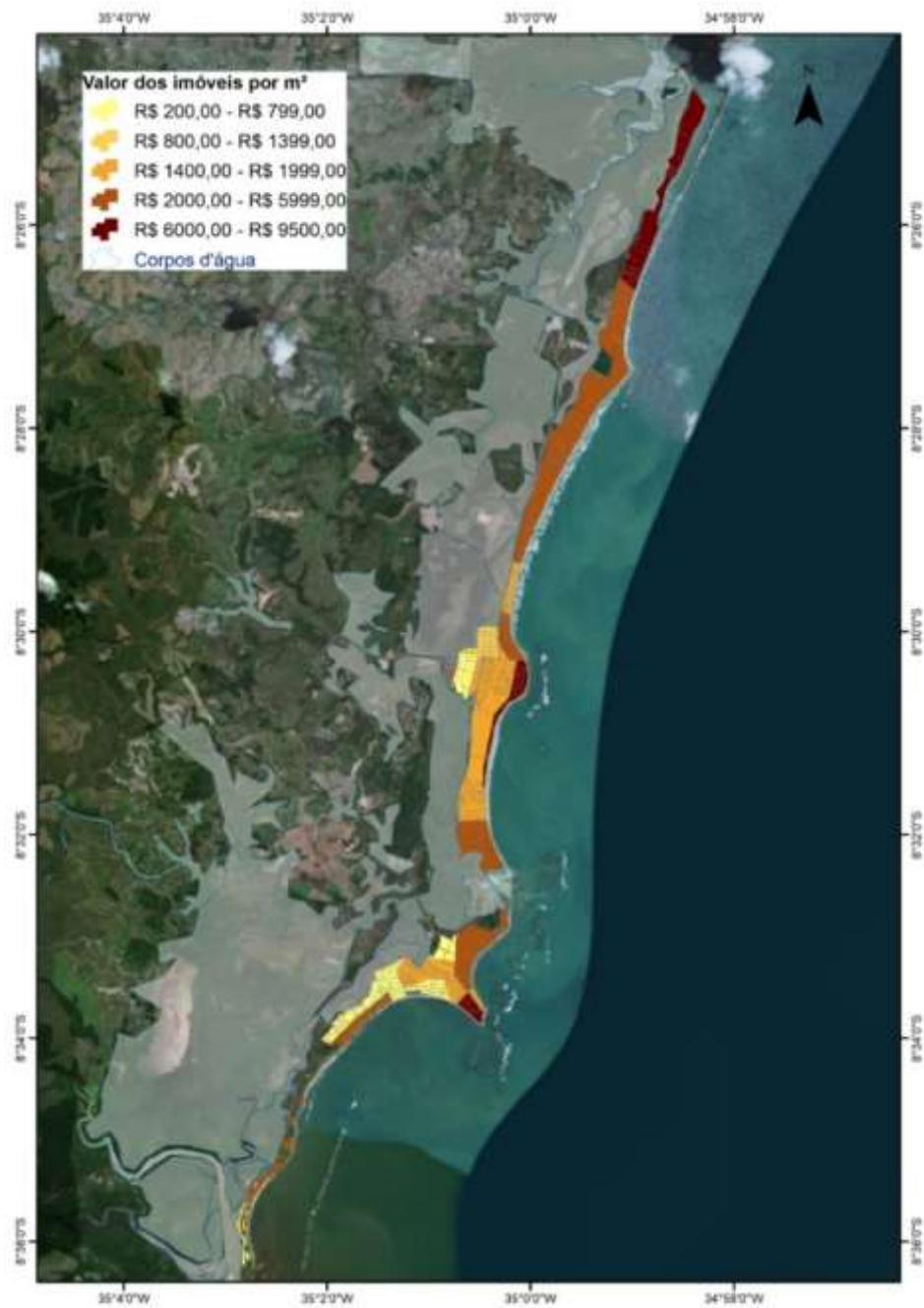
Foram averiguados os preços de 54 casas e apartamentos à venda distribuídos ao longo da área protegida. Os preços por metro quadrado variaram entre R\$ 177,00 e R\$ 15.747,00, sendo que a mediana foi R\$ 2.712,00 e a moda R\$ 5.555,00.

A área protegida foi separada em 20 setores, para extrapolar os valores coletados e calcular o preço total da área protegida. A Figura 7 mostra apenas 5 classes para facilitar a visualização, com intervalos de preços variando entre R\$200,00 e R\$ 9500,00 por m². As propriedades mais caras são, em geral, localizadas na beira do mar e na praia de Muro Alto e seriam as primeiras a serem afetadas e danificadas caso os recifes deixassem de exercer a função de proteção costeira.

Existe uma grande variabilidade nos preços de oferta de imóveis ao longo do litoral, o que se pode observar é que há um setor de construções de alto padrão no norte do litoral de Ipojuca, que compreende as praias do Cupe e Muro Alto. Na primeira faixa de urbanização da orla dos demais setores, as construções possuem um padrão inferior ao citado anteriormente e são imóveis mais antigos, com algumas décadas. Ainda assim, pela sua posição privilegiada para o comércio e pela bela paisagem que se tem ao morar de frente para o mar, esses setores também apresentam alto preço de oferta de venda.

A face sul do pontal de Serrambi é uma área do litoral que vem enfrentando erosão costeira há alguns anos (Martins *et al.*, 2016), que é, de acordo com os corretores de imóveis, a principal razão para os baixos preços de oferta nos imóveis dessa região, marcada no mapa pela cor amarela (Figura 7). Outras áreas que aparecem na figura no mesmo intervalo de preços baixos, são localizadas mais distantes da praia, e por isso despertam menos interesse dos compradores.

Figura 7. Setores do litoral de Ipojuca, PE com diferentes preços de venda de imóveis.



Fonte: a autora.

A Tabela 4 mostra os valores mensais do Índice de Velocidade de Vendas (IVV) e o preço médio de venda de imóveis na praia de Muro Alto de acordo com os dados do SINDUSCON. Os dados analisados compreendem os meses entre janeiro de 2018 e março de 2019.

Tabela 4. Índice de Velocidade de Vendas (IVV) e preço médio do m² em Ipojuca – Muro Alto, PE - Brasil.

Mês	IVV	Preço médio do m ²
Jan/18	7,90%	R\$ 7932,35
Fev/18	7,70%	R\$ 7603,51
Mar/18	3,90%	R\$ 7603,51
Abr/18	6,30%	R\$ 8996,55
Mai/18	18,20%	R\$ 8720,83
Jun/18	3,10%	R\$ 11962,07
Jul/18	5,50%	R\$ 8600,09
Ago/18	7,40%	R\$ 8929,55
Set/18	14,10%	R\$ 9143,63
Out/18	15,90%	R\$ 9975,66
Nov/18	4,50%	R\$ 10505,41
Dez/18	29,50%	R\$ 10024,53
Jan/19	30,80%	R\$ 7493,96
Fev/19	22,50%	R\$ 10643,54
Mar/19	24,40%	R\$ 9158,46
Média	13%	R\$ 9153,00

Fonte: FIEPE.⁸

4.5.4 Valor do SE de proteção costeira

A Figura 7 mostrou alguns setores com a distribuição de preços ao longo do litoral de Ipojuca. Entretanto, para calcular o valor total da área protegida foram usados 20 subsetores, com preços e área diferentes. O resultado médio de oferta de venda de imóveis nas praias de Ipojuca é 4944,00 R\$/m², ao passo que o valor médio de venda de imóveis apresentado nos relatórios do SINDUSCON foi de 9.152,00 R\$ /m². Deste valor foi reduzido o custo de construção de alto padrão, que para Pernambuco, em 2018, era de R\$2.136,00, para garantir que o valor que seria atribuído se deve ao local onde o terreno se encontra e não ao tipo de construção.

A equação aplicada para calcular o valor do serviço ecossistêmico de proteção costeira exercida pelos recifes está apresentada na Tabela 5, que sumariza os valores das variáveis utilizadas.

⁸ Relatórios mensais disponíveis no site <http://www.sindusconpe.com.br/servicos/ivv>.

$$V = \frac{(\sum(P * Ap)) * C}{Ar * TC} / t$$

Tabela 5. Variáveis utilizadas na valoração do SE de proteção costeira em Ipojuca, PE - Brasil.

Variável	Descrição	Resultado – Imobiliárias	Resultado - SINDUSCON
P	Valor dos imóveis por área	4,94 bi R\$/km ²	7,02 bi R\$/km ²
AP	Área construída protegida pelos recifes	2,43 km ²	2,43 km ²
C	Taxa de custo de reparação dos imóveis	65 %	65 %
AR	Área de cobertura dos recifes na região	5,54 km ²	5,54 km ²
TC	Taxa de câmbio	R\$3,65 = US\$ 1,00	R\$3,65 = US\$ 1,00
t	Tempo de recorrência de eventos que causariam inundação/erosão na praia	100 anos	100 anos
V	Valor final do SE – proteção costeira	3,9 mi US\$/km ² .ano	5,5 mi US\$/km ² .ano

Fonte: a autora.

O resultado foi mais alto usando os dados do SINDUSCON, e isso se deve porque os dados dos relatórios tratam apenas dos imóveis de Muro Alto, que é um bairro de alto padrão. Entretanto os dois resultados, imobiliárias e SINDUSCON, apresentam a mesma ordem de grandeza, se mostrando coerentes entre si. Por isso, a partir de agora a discussão dos resultados será baseada no valor do SE obtido com os preços de oferta de venda de imóveis em imobiliárias, que representam de maneira mais abrangente a área de estudo (Tabela 6).

Tabela 6. Valor dos recifes de Ipojuca, PE considerando apenas o SE de proteção costeira.

	Valor simulado para a proteção costeira
Valor total do SE	2,1 bi US\$
Valor do SE por ano (TR 100)	21,4 mi US\$/ ano
Valor do SE por ano por km ² do ecossistema	3,9 mi US\$/km ² /ano

Fonte: a autora.

4.5.5 Importância da valoração

Os recifes de Ipojuca formam uma paisagem única, com o desenvolvimento de recifes de corais sobre os arenitos de praia, que têm uma importância significativa para a proteção da zona costeira (Dominguez *et al.*, 1990). Como demonstrado no Capítulo 1 desta tese, existem

diversos outros SE que geram benefícios para a comunidade. Se esses SEs fossem valorados o resultado seria superior ao simulado somente para a proteção costeira. Isso demonstra que a existência dos recifes na região de Ipojuca é fundamental para a manutenção do estilo de vida da comunidade local, pois os recifes protegem o terreno onde foram construídos os imóveis avaliados nesse estudo, protegem a beleza do lugar que atrai muitos turistas todos os anos, proporcionam fontes de alimentação para a comunidade, entre outros benefícios.

De acordo com o Ministério da Fazenda - Secretaria do Tesouro Nacional, no ano de 2018 a receita total do município de Ipojuca foi de cerca de US\$ 200 milhões (dados disponibilizados pelo SICONFI - Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro⁹), sendo que destes, US\$ 2,7 milhões foram arrecadados com imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana e imposto sobre transmissão "inter vivos" de bens imóveis e de direitos reais sobre imóveis. De acordo com a valoração do SE de proteção costeira, os recifes de Ipojuca evitam um prejuízo de cerca de US\$ 20 milhões por ano, valor 7 vezes maior que a arrecadação anual sobre imóveis de todo o município de Ipojuca.

A valoração desse SE em Ipojuca poderia ser usada para a definição de investimentos municipais na manutenção da qualidade dos recifes. Da mesma forma que parte da receita do município é destinada para manutenção da iluminação pública nos bairros, que é um serviço da infraestrutura urbana, uma parcela também deveria ser destinada para a conservação dos recifes e, conseqüentemente, na manutenção do serviço ecossistêmico de proteção costeira.

Entretanto, apesar da importância para a comunidade local e para os tomadores de decisões, como a proteção costeira é um SE com valor de uso indireto, falta conhecimento por parte da população sobre os benefícios desse serviço. O conhecimento dos SEs pode ser útil para comunicação e divulgação, justificando decisões de gerenciamento e planejamento espacial. Uma cartilha didática e educativa é uma opção que poderia ser utilizada para instruir a comunidade e os gestores sobre os serviços ecossistêmicos dos recifes, sendo que com dados monetários a cartilha poderia atrair mais facilmente a atenção da comunidade.

Com uma taxa de desconto de 0% aplicada, o valor de proteção costeira anual de curto prazo dos recifes de coral nas Ilhas Virgens Americanas, considerando uma área de recifes de 155 km² é de 0,8 mi US\$/km²/ano (para um TR de 100 anos). Incluindo efeitos de curto e longo prazo e igual, que são as taxas de erosão dos recifes e aumento na altura das ondas, o

⁹ Dados obtidos no Portal da Transparência, disponível em: s2.asp.srv.br/etransparencia.pm.ipojuca.pe

valor da proteção costeira passa para 5,7 mil US\$/km²/ano (Zanten, Beukering e Wagtendonk, 2014), valor semelhante aos 3,9 mil US\$/km²/ano calculados para o litoral de Ipojuca (Tabela 6). O estudo realizado por Zanten, Beukering e Wagtendonk (2014), incluiu outras variáveis, como profundidade do recife, rugosidade da superfície dos recifes, e diferentes tipos de uso do solo da área protegida. Com a inclusão dessas variáveis o resultado da valoração se torna mais preciso, ao mesmo tempo que se torna mais dispendioso pela necessidade de dados detalhados.

Um estudo na Nova Caledônia, na Oceania, utilizou um método semelhante ao aplicado no presente estudo para estimar o valor da proteção costeira exercida por recifes (Pascal *et al.*, 2016). A valoração foi realizada pelo método de custo evitado, usando valor de reparação de danos igual a 65% do valor total de propriedades, para um TR de 10 anos. O resultado foi o valor de 1,27 mil US\$/km²/ano, o que está na mesma ordem de grandeza do valor estimado no presente estudo.

Alguns estudos apresentam a valoração com relação a um comprimento de linha de costa, por exemplo, Burke e Maidens, 2004 que valoraram o SE de proteção costeira para o Caribe pelo método do custo evitado de manutenção das praias, e resultou em um valor de até 150 mil US\$/km/ano. No presente estudo, se o valor for apresentado com os mesmos parâmetros, resulta num valor de 590 mil US\$/km/ano. O resultado mais alto encontrado para os recifes de Ipojuca pode estar associado à deficiência nos dados de área de cobertura dos recifes, que foi identificado por imagem de satélite. Se a área real dos recifes é maior do que os 5 km² calculados no presente estudo, então a valoração pode estar sendo superestimada. Entretanto, para o objetivo do trabalho, que é apresentar a ordem de grandeza do valor do SE em Ipojuca, os resultados foram satisfatórios.

Com base nos resultados de valoração para outros recifes no mundo é possível perceber que a comparação de valores do SE de proteção costeira de recifes é difícil. Isso se deve ao fato das peculiaridades de cada região, e principalmente, do método aplicado. A valoração de SE é particular do local para onde foi realizado e intrínseco ao motivo da sua realização. Por isso, a transferência de valores para outros recifes do mundo e até mesmo para locais próximos, deve ser realizado com cautela.

Outro motivo que deve ser considerado quando usado o método de transferência de valores é quanto à linearidade na provisão dos serviços. Um estudo sobre a capacidade de proteção costeira de manguezais constatou que há uma relação exponencial entre a

porcentagem de cobertura das árvores e a energia de onda dissipada no bosque (Barbier *et al.*, 2008). Essa relação da área de cobertura de recifes e tipo de organismos, também é válida para o ecossistema recifal, quando avaliada a eficiência na dissipação de energia de ondas (Sheppard *et al.*, 2005). Por essas razões, quando a transferência de valores for necessária, é importante que o estudo envolva variáveis como densidade populacional, características de padrão econômico das comunidades residentes e características físicas do ecossistema.

Um estudo estimou que mais de 80% das áreas costeiras atualmente protegidas por recifes de coral sofrerão alguma redução futura neste serviço (Burke e Maidens, 2004). No entanto, tais reduções podem não ser observadas tão rapidamente quanto os declínios na pesca ou na recreação, por exemplo. Isso porque os recifes precisam ficar severamente degradados e corroídos antes que ocorra a perda da proteção.

A proteção costeira faz parte do capital natural do homem. É importante que os gestores tenham conhecimento da existência e relevância desse SE. Quando há um desequilíbrio entre os 5 capitais, ocorrem perdas monetárias e de bem estar humano, uma vez que há uma estreita relação entre o capital natural, o capital manufaturado (construções e infraestrutura urbana na zona costeira) e o capital social (valor do turismo e bem-estar da comunidade que está associado às condições hidrodinâmicas calmas, pela influência dos recifes).

Para evitar que se chegue a perder o SE de proteção costeira ou outros SEs é importante que se tenha conhecimento dos efeitos da perda deles, tornando possível fornecer, aos órgãos competentes e aos tomadores de decisão, informações úteis para a implantação de políticas de conservação e preservação dos recursos naturais e ambientais. O valor dos SEs pode servir como parâmetro para a determinação de investimentos com planos e ações de conservação (Vinícius, Finco e Abdallah, 2002).

4.6 CONCLUSÕES

Os serviços ecossistêmicos gerados pelos recifes de Ipojuca são importantes para a comunidade pois são fundamentais para a população local. A simulação de um desses SEs, a proteção costeira, mostrou economicamente quão relevante os benefícios desses SEs podem ser.

Os bancos de recifes do litoral de Ipojuca cobrem uma área de aproximadamente 5,4 km² da região marinha rasa. Estimou-se que esses recifes protegem uma área de cerca de 20

km² de zona costeira, que comporta centros urbanos, áreas de praia, e área úmidas como rios, banhados e manguezais.

A proteção costeira é um serviço ecossistêmico de valor de uso indireto, e por isso o método utilizado para calcular a valoração foi o do custo evitado. O valor econômico referente à proteção costeira, associado aos recifes, foi baseado no valor imobiliário de imóveis na região, resultando em uma valoração de 3,9 milhões de dólares por km² do ecossistema recifal por ano. Esse resultado considera o custo evitado com eventos de erosão e inundação possíveis de ocorrer nos próximos 100 anos, que gerariam uma despesa de reparação nos imóveis afetados de 65 % do valor atual de venda do imóvel.

Devido à complexidade de calcular o valor total dos SEs, a proteção da zona costeira contra erosão e inundação foi avaliada de maneira isolada e baseada em apenas um parâmetro. Ainda assim, o valor encontrado aponta a relevância desse SE para a comunidade. Se somado aos SEs de turismo de mergulho nos recifes, produção pesqueira de espécies para a alimentação, a valoração resultaria em um valor ainda maior do que o total anual de 21,4 milhões de dólares que representam o valor da proteção costeira total exercida pelos recifes de Ipojuca.

A valoração apresentada neste estudo mostrou que é possível gerar conhecimento numa linguagem mais facilmente interpretada pela população em geral, com o uso de dados iniciais acessíveis a todos. A valoração é uma forma de apresentar as informações sobre os serviços ecossistêmicos, que pode dar suporte a programas de conservação e restauração ambiental, de adaptação às mudanças climáticas e de ressarcimento por serviços ambientais.

REFERÊNCIAS

BARBIER, E. B. *et al.* Coastal Ecosystem-Based Management with Nonlinear Ecological Functions and Values. **Science**, v. 319, n. 319, p. 321–323, 18 jan. 2008.

BARDELLA CASTRO, J. D.; NOGUEIRA, J. M. **Valoração econômica do meio ambiente – teoria e prática**. [s.l.] EDITORA CRV, 2019.

BOLT, K.; RUTA, G.; SARRAF, M. **Estimating the cost of environmental degradation**Environment. [s.l.: s.n.].

BRIERLEY, A. S.; KINGSFORD, M. J. Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems. **Current Biology**, v. 19, n. 14, p. R602–R614, 2009.

BURKE, L.; MAIDENS, J. **Reefs at Risk in the Caribbean**. [s.l: s.n.].

CESAR, H.; BURKE, L.; PET-SOEDE, L. The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. **Cesar Environmental Economics Consulting, Arnhem, and WWF-Netherlands**, v. 14, p. 23, 2003.

COSTANZA, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. May, p. 253–260, 1997.

____. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, n. September, p. 1–16, 2017.

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* Geologia Do Quaternário Costeiro Do Estado De Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1–4, p. 208–215, 1990.

FISHER, B.; BATEMAN, I. J.; TURNER, R. K. Valuing Ecosystem Services: Benefits, Values, Space and Time. **Ecosystem Services Economics**, n. January, p. N° 3, 2011.

GALLOP, S. L. *et al.* The influence of limestone reefs on storm erosion and recovery of a perched beach. **Continental Shelf Research**, v. 47, p. 16–27, 2012.

GROOT, R. DE *et al.* Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, v. 1, n. 1, p. 50–61, 2012.

IPCC, I. P. ON C. C. **Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis**Ipcc. [s.l: s.n.].

KHAMIS, S. H. ON AGGREGATION METHODS FOR INTERNATIONAL COMPARISONS. **Review of Income and Wealth**, v. 30, n. 2, p. 185–205, jun. 1984.

KULP, S. A.; STRAUSS, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. **Nature Communications**, 2019.

KUMAR, P. **Integrando a economia da natureza: uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB**The Economics of ecosystems and biodiversity. [s.l: s.n.].

MARTINS, K. A. *et al.* Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, 2016.

MESSNER, F. *et al.* **Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods****Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures**. [s.l: s.n.].

MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: Interactions, substitutions and restoration. **Ocean and Coastal Management**, v. 46, n. 1–2, p. 27–46, jan. 2003.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília, BR: [s.n.].

PAGIOLA, S.; BISHOP, J. **Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation****Environmental Economics Series**. [s.l: s.n.].

PASCAL, N. *et al.* Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: A pragmatic approach. **Ecosystem Services**, v. 21, p. 72–80, out. 2016.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. Economics of Natural Resources and the Environment. **Land Economics**, v. 67, n. 2, p. 272, maio 1991.

PLOEG, S. VAN DER; GROOT, R. S. DE. **The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services**. Wageningen, the Netherlands: [s.n.].

PRASETYA, G. **Protection from coastal erosion** (S. BRAATZ et al., Eds.)Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees? Proceedings of the Regional Technical Workshop. **Anais...Khao Lak, Thailand: 2006**

RUGGERI, J. Government investment in natural capital. **Ecological Economics**, v. 68, n. 6, p. 1723–1739, abr. 2009.

SARMENTO, V. C.; SANTOS, P. J. P. Trampling on coral reefs: Tourism effects on harpacticoid copepods. **Coral Reefs**, v. 31, n. 1, p. 135–146, 2012.

SCHÄGNER, J. P. *et al.* Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects. **Ecosystem Services**, v. 4, p. 33–46, 2013.

SHEPPARD, C. *et al.* Coral mortality increases wave energy reaching shores protected by reef flats: Examples from the Seychelles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 64, n. 2–3, p. 223–234, ago. 2005.

SILVA, J. F. *et al.* Growth of the tropical zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) on reefs in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 87, n. 2, p. 985–996, 2015.

SILVA, R. G. DA; LIMA, J. E. DE. Valoração contingente do parque “Chico Mendes”: uma aplicação probabilística do método Referendum com bidding games. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 4, p. 685–708, dez. 2004.

TROY, A.; WILSON, M. A. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. **Ecological Economics**, v. 60, n. 2, p. 435–449, 2006.

VILLA, F. *et al.* A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, 2014.

VINÍCIUS, M.; FINCO, A.; ABDALLAH, P. R. Valoração Econômica Do Meio Ambiente: O Método Do Custo De Viagem Aplicado Ao Litoral Do Rio Grande Do Sul. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 10, n. 18, p. 15, 2002.

WRI, W. R. I. Economic implications of coral reef degradation. *In*: BURKE, L.; MAIDENS, J. (Eds.). . **Reefs at risk in the Caribbean**. [s.l.: s.n.]. p. 52–59.

ZANTEN, B. T. V. VAN; BEUKERING, P. J. . VAN; WAGTENDONK, A. J. Coastal protection by coral reefs: A framework for spatial assessment and economic valuation. **Ocean and Coastal Management**, v. 96, p. 94–103, 2014.

5 CONCLUSÃO

O objetivo da tese foi caracterizar os serviços ecossistêmicos exercidos pelos recifes costeiros do litoral de Pernambuco, com base nos recifes do litoral de Ipojuca e com isso evidenciar a importância dos recifes para a população que usufrui deste ecossistema. Para caracterizar e quantificar os serviços ecossistêmicos, foi utilizado como estudo de caso os recifes costeiros do litoral de Ipojuca, Pernambuco.

Os SEs em Ipojuca são tão diversos quanto em outros recifes do mundo, como foi comprovado pela entrevista com gestores, uma vez que a entrevista foi baseada nos SEs descritos na revisão bibliográfica. Esse resultado é interessante, uma vez que os recifes de Ipojuca, não possuem a mesma diversidade de espécies que outros recifes do mundo, como os do Caribe ou a Grande Barreira de Corais da Austrália, além da menor biodiversidade os recifes de Ipojuca são menores em extensão, entretanto isso mostrou que não é um fator limitante para a oferta dos SEs avaliados. Alguns grupos de beneficiários como, por exemplo, os agentes de turismo, são, economicamente, mais dependentes dos SEs do recife, tornando-os mais vulneráveis a possíveis impactos ambientais e alterações na provisão dos serviços.

Os SEs mais relevantes para a região são a possibilidade de recreação e a proteção costeira. Nas duas etapas de reconhecimento dos SEs (oficina e entrevista), esses SEs foram mencionados e considerados de alta importância. Portanto, são aspectos que deveriam, fundamentalmente, ser considerados na elaboração de planos de zoneamento e uso do litoral, a fim de minimizar os impactos na provisão desses SEs para a sociedade.

A oficina com os gestores atuantes na zona costeira de Pernambuco mostrou que existe uma deficiência de compreensão sobre o que são SEs e o que são benefícios extraídos dos SEs. Portanto, este é um ponto que deve ser mais trabalhado com os gestores caso seja implantado medidas de manejo ambiental baseado em ecossistemas. Outro ponto que gerou dúvida entre os participantes foi com relação aos serviços de regulação, que foram citados com maior insegurança.

O método aplicado para identificar os SEs, através da participação de gestores e pesquisadores, foi enriquecedora para a pesquisa. Apenas dados de bibliografia não seriam suficientes para compreender as interações dos SEs em Ipojuca. Isso reforça a ideia de que é preciso haver diálogo entre pesquisadores e gestores.

Um dos SEs, a proteção costeira, foi quantificada por meio de análises de comportamento temporal de perfis de praia e comparado com dados de energia de onda nos mesmos períodos. Os resultados, sobre o efeito dos recifes na proteção costeira, mostraram que os recifes de Ipojuca têm um efeito significativo no clima das ondas próximos da costa e na morfologia da praia adjacente. Na Praia do Cupe, a energia das ondas que chega na praia sem recife é aproximadamente 50% maior que a energia que chega à praia protegida pelo recife. A praia do Cupe apresenta menos características tridimensionais do que áreas adjacentes expostas a ondas. A variabilidade temporal do volume da praia provou que as praias com recife têm menos trocas de sedimentos do que as praias expostas, ou seja, o recife está protegendo a praia dos processos erosivos durante condições energéticas hidrodinâmicas. Portanto, é importante monitorar os efeitos da degradação dos recifes e das mudanças climáticas na atenuação das ondas.

O outro método aplicado para quantificar o SE foi a valoração. Como a proteção costeira é um serviço ecossistêmico de valor de uso indireto, o método utilizado para calcular a valoração foi o do custo evitado, o valor econômico referente à proteção costeira, associado aos recifes, foi baseado no valor imobiliário de imóveis na região.

Os bancos de recife do litoral de Ipojuca cobrem uma área de aproximadamente 5,4 km² da região marinha rasa. Estimou-se que esses recifes protegem uma área de cerca de 20 km² de zona costeira, que comporta centros urbanos, áreas de praia, e área úmidas como rios, banhados e manguezais.

Os resultados indicaram uma valoração do SE de proteção costeira de 3,9 milhões de dólares por km² do ecossistema recifal por ano. Esse resultado considera o custo evitado com eventos de erosão e inundação possíveis de ocorrer nos próximos 100 anos, que gerariam uma despesa de reparação nos imóveis afetados de 65 % do valor atual de venda do imóvel. Devido à complexidade de calcular o valor total dos SEs, a proteção da zona costeira contra erosão e inundação foi avaliada de maneira isolada e baseada em apenas um parâmetro. Ainda assim, o valor encontrado aponta a relevância desse SE para a comunidade. Se somado aos SEs de turismo de mergulho nos recifes, produção pesqueira de espécies para a alimentação, a valoração resultaria em um valor ainda maior do que o total de 2,2 bilhões de dólares que representam o valor da proteção costeira total exercida pelos recifes de Ipojuca.

A valoração apresentada neste estudo mostrou que é possível gerar conhecimento numa linguagem facilmente interpretada pela população em geral, com o uso de dados iniciais

acessíveis a todos. A valoração é uma forma de apresentar as informações sobre os serviços ecossistêmicos, que pode dar suporte a programas de conservação e restauração ambiental, de adaptação às mudanças climáticas e de ressarcimento por serviços ambientais.

Uma melhor compreensão dos efeitos dos recifes pode ser útil para informar a formulação de políticas e o gerenciamento de praias. Novos estudos sobre a evolução temporal dos perfis de praia poderiam fornecer uma melhor compreensão da influência dos recifes sobre a morfologia costeira.

Como foi constatado, não é evidente para a comunidade a identificação todos os SEs e seus benefícios. Esse déficit de conhecimento poderia ser diminuído através de uma cartilha didática e educativa contendo informações simples sobre a importância dos serviços ecossistêmicos dos recifes e sobre os efeitos negativos sobre os benefícios gerados pelos SEs quando ocorre a degradação do ambiente.

O conhecimento dos SEs oferecidos pelos recifes pode ser uma ferramenta útil para comunicação e planejamento da gestão costeira. O uso das informações encontradas nessa tese pode ser usada de forma estratégica para expressar e transmitir o conhecimento já produzido na universidade de uma maneira mais abrangente e, com isso, justificar, para a comunidade e para agentes governamentais, a razão das ações de gerenciamento que devem ser tomadas e até mesmo as que já estão em andamento.

REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.
- ALBERT, J. A. *et al.* Reaping the reef: Provisioning services from coral reefs in Solomon Islands. **Marine Policy**, v. 62, p. 244–251, 2015.
- ALEGRIA-ARZABURU, A. R. *et al.* The role of fringing coral reefs on beach morphodynamics. **Geomorphology**, v. 198, p. 69–83, 2013.
- ARAÚJO, M. *et al.* Salinity-induced mixed and barrier layers in the southwestern tropical Atlantic Ocean off the northeast of Brazil. **Ocean Science**, v. 7, n. 1, p. 117–136, 2011.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Infometrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ARKEMA, K. K. *et al.* Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 24, p. 7390–7395, 16 jun. 2015.
- ARMSTRONG, C. W. *et al.* Cold water coral reef management from an ecosystem service perspective. **Marine Policy**, v. 50, p. 126–134, dez. 2014.
- BAN, N. C. *et al.* Interplay of multiple goods, ecosystem services, and property rights in large social-ecological marine protected areas. **Ecology and Society**, v. 20, n. 4, p. art2, 2015.
- BARBIER, E. B. *et al.* Coastal Ecosystem-Based Management with Nonlinear Ecological Functions and Values. **Science**, v. 319, n. 319, p. 321–323, 18 jan. 2008.
- BARBIER, E. B. *et al.* The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 2, p. 169–193, maio 2011.
- _____. The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. **Marine Pollution Bulletin**, v. 109, n. 2, p. 676–681, 2016.
- _____. Marine ecosystem services. **Current Biology**, v. 27, n. 11, p. R507–R510, jun. 2017.
- BARDELLA CASTRO, J. D.; NOGUEIRA, J. M. **Valoração econômica do meio ambiente – teoria e prática**. [s.l.] EDITORA CRV, 2019.
- BARRAGÁN, J. M. **Política, gestión y litoral. Nueva visión de la gestión integrada de áreas litorales**. p. 685, 2014.
- BECK, M. W. *et al.* The global flood protection savings provided by coral reefs. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 2186, 2018.

BEETHAM, E. P.; KENCH, P. S. Wave energy gradients and shoreline change on Vabbinfaru platform, Maldives. **Geomorphology**, v. 209, p. 98–110, 2014.

BOERAEEVE, F. *et al.* Participatory identification and selection of ecosystem services: Building on field experiences. **Ecology and Society**, v. 23, n. 2, p. 27, 2018.

BOLT, K.; RUTA, G.; SARRAF, M. **Estimating the cost of environmental degradation** *Environment*. P. 265, 2005.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, 2007.

BRAAT, L. C. The Value of the Ecosystem Services Concept in Economic and Biodiversity Policy. *In: Ecosystem Services: Global Issues, Local Practices*. p. 97–103, 2013.

BREMER, L. L. *et al.* Opportunities and Strategies to Incorporate Ecosystem Services Knowledge and Decision Support Tools into Planning and Decision Making in Hawai'i. **Environmental Management**, v. 55, n. 4, p. 884–899, 5 abr. 2015.

BRIERLEY, A. S.; KINGSFORD, M. J. Impacts of Climate Change on Marine Organisms and Ecosystems. **Current Biology**, v. 19, n. 14, p. R602–R614, 2009.

BURKE, L.; MAIDENS, J. **Reefs at Risk in the Caribbean**. P. 80, 2004.

BUTLER, J. R. A. *et al.* An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 180, p. 176–191, nov. 2013.

BUTLER, J. R. A. *et al.* Stakeholder perceptions of ecosystem service declines in Milne Bay, Papua New Guinea: Is human population a more critical driver than climate change?. **Marine Policy**, v. 46, p. 1–13, maio 2014.

BYERS, J. E. *et al.* A Non-Native Prey Mediates the Effects of a Shared Predator on an Ecosystem Service. **PLoS ONE**, v. 9, n. 4, p. e93969, 9 abr. 2014.

CESAR, H.; BURKE, L.; PET-SOEDE, L. The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. **Cesar Environmental Economics Consulting, Arnhem, and WWF-Netherlands**, v. 14, p. 23, 2003.

CHEN, J. L. *et al.* Recreational Benefits of Ecosystem Services on and around Artificial Reefs: A Case Study in Penghu, Taiwan. **Ocean and Coastal Management**, v. 85, p. 58–64, 2013.

COOPER, N. J.; LEGGETT, D. J.; LOWE, J. P. Beach-profile measurement, theory and analysis: Practical guidance and applied case studies. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management**, v. 14, n. 2, p. 79–88, 2000.

COSTA, M. B. S. F. *et al.* Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318–327, 2016.

COSTANZA, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. May, p. 253–260, 1997.

_____. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152–158, maio 2014.

_____. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, n. September, p. 1–16, 2017.

CPRH. **Diagnóstico socioambiental - Litoral sul de Pernambuco**. Recife, BR: Agência Estadual de Meio Ambiente - Governo de Pernambuco, 2001.

DAILY, G. C. **Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems** **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**, p. 412, 1997.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics : principles and applications**. P. 484, 2003.

DAW, T. M. *et al.* Evaluating taboo trade-offs in ecosystems services and human well-being. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 22, p. 6949–6954, 2 jun. 2015.

DOMINGUEZ, J. M. L. *et al.* Geologia Do Quaternário Costeiro Do Estado De Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1–4, p. 208–215, 1990.

DUNNING, K. H. Ecosystem services and community based coral reef management institutions in post blast-fishing Indonesia. **Ecosystem Services**, v. 16, p. 319–332, 2015.

ELLIFF, C. I.; KIKUCHI, R. K. P. The ecosystem service approach and its application as a tool for integrated coastal management. **Natureza & Conservação**, p. 1–7, 2015.

FAILLER, P. *et al.* Valuation of marine and coastal ecosystem services as a tool for conservation: The case of Martinique in the Caribbean. **Ecosystem Services**, v. 11, p. 67–75, fev. 2015.

FAZEY, I. *et al.* The nature and role of experiential knowledge for environmental conservation. **Environmental Conservation**, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2006.

FERRARIO, F. *et al.* The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature communications**, v. 5, n. May, p. 3794, 2014.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: situação e perspectivas**. P. 250, 2006.

FERREIRA JÚNIOR, A. V. *et al.* Petrologia dos arenitos de praia (Beachrocks) na costa central de Pernambuco. **Geociências**, v. 30, n. 4, p. 545–559, 2011.

FISHER, B.; BATEMAN, I. J.; TURNER, R. K. Valuing Ecosystem Services: Benefits, Values, Space and Time. **Ecosystem Services Economics**, n. January, p. N° 3, 2011.

FOLHA DE PERNAMBUCO. 2018. **Cresce o número de turistas no Recife**. Disponível em: www.folhape.com.br. Acessado em: 02 de janeiro de 2020.

FREIRE, O. D. DA S.; ZAMBONI, A.; MIGUENS, A. P. **Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão**. Brasília, BR: Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão (MPO), v. 1, p. 104, 2004.

GALLOP, S. L. *et al.* Rock topography causes spatial variation in the wave, current and beach response to sea breeze activity. **Marine Geology**, v. 290, n. 1–4, p. 29–40, 2011.

_____. The influence of limestone reefs on storm erosion and recovery of a perched beach. **Continental Shelf Research**, v. 47, p. 16–27, 2012.

_____. The influence of coastal reefs on spatial variability in seasonal sand fluxes. **Marine Geology**, v. 344, p. 132–143, 2013.

GEDAN, K. B.; KELLOGG, L.; BREITBURG, D. L. Accounting for Multiple Foundation Species in Oyster Reef Restoration Benefits. **Restoration Ecology**, v. 22, n. 4, p. 517–524, jul. 2014.

GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R. S. DE. Natural capital and ecosystem services: the ecological foundation of human society. In: HESTER, R. E.; HARRISON, R. M. (Eds.). . **Ecosystem services, Issues in Environmental Science and Technology**. [s.l.] Royal Society of Chemistry, 2010. p. 105–121.

GRABOWSKI, J. H. *et al.* Economic Valuation of Ecosystem Services Provided by Oyster Reefs. **BioScience**, v. 62, n. 10, p. 900–909, out. 2012.

GROOT, R. DE *et al.* Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, v. 1, n. 1, p. 50–61, 2012.

GROOT, R. S. . DE; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and systems. **Ecological Economics**, v. 41, n. May, p. 1–20, 2002.

GROOT, R. S. DE *et al.* Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. **Conservation Biology**, v. 27, n. 6, p. 1286–1293, 2013.

GUIMARAES SANTOS, J.; ATAÍDE CÂNDIDO, G. Atividades turísticas e indicadores de sustentabilidade: Um estudo em um destino turístico brasileiro. **Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural**, v. 16, n. 1, p. 37–54, 2018.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Proposal For A Common International Classification Of Ecosystem Goods And Services (CICES) For Integrated Environmental and Economic Accounting Contract.**

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. B. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. **European Environment Agency**, 2018.

HALPERN, B. S. *et al.* Managing for cumulative impacts in ecosystem-based management through ocean zoning. **Ocean and Coastal Management**, v. 51, n. 3, p. 203–211, 2008.

HANDCOCK, M. S.; GILE, K. J. Comment: On the concept of snowball sampling comment: on the concept of snowball sampling. **Sociological Methodology**, v. 41, p. 367–371, 2011.

HERNÁNDEZ-DELGADO, E. A. The emerging threats of climate change on tropical coastal ecosystem services, public health, local economies and livelihood sustainability of small islands: Cumulative impacts and synergies. **Marine Pollution Bulletin**, v. 101, n. 1, p. 5–28, 2015.

HICKS, C. C. *et al.* Linking ecosystem services and human-values theory. **Conservation Biology**, v. 29, n. 5, p. 1471–1480, out. 2015.

HICKS, C. C.; CINNER, J. E. Social, institutional, and knowledge mechanisms mediate diverse ecosystem service benefits from coral reefs. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 50, p. 17791–17796, 2014.

HICKS, C. C.; GRAHAM, N. A. J.; CINNER, J. E. Synergies and tradeoffs in how managers, scientists, and fishers value coral reef ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 6, p. 1444–1453, dez. 2013.

HIGGINS, V. *et al.* Payments for Ecosystem Services, neoliberalisation, and the hybrid governance of land management in Australia. **Journal of Rural Studies**, v. 36, p. 463–474, out. 2014.

IPCC, I. P. ON C. C. **Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis**Ipcc. [s.l: s.n.].

JOEVIVEK, V. *et al.* Spatial and temporal correlation between beach and wave processes: implications for bar–berm sediment transition. **Frontiers of Earth Science**, v. 12, n. 2, p. 349–360, 2017.

JOHNS, G. *et al.* Developing economic indices to assess the human dimensions of the South Florida coastal marine ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 44, p. 69–80, set. 2014.

KAISER, G. *et al.* Mapping tsunami impacts on land cover and related ecosystem service supply in Phang Nga, Thailand. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, n. 12, p. 3095–3111, 5 dez. 2013.

- KATSANEVAKIS, S. *et al.* Ecosystem-based marine spatial management: Review of concepts, policies, tools, and critical issues. **Ocean and Coastal Management**, v. 54, n. 11, p. 807–820, 2011.
- KENT, F. E. A. *et al.* Horse mussel reef ecosystem services: evidence for a whelk nursery habitat supporting a shellfishery. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 12, n. 3, p. 172–180, 2 jul. 2016.
- KHAMIS, S. H. ON AGGREGATION METHODS FOR INTERNATIONAL COMPARISONS. **Review of Income and Wealth**, v. 30, n. 2, p. 185–205, jun. 1984.
- KOCH, E. W. *et al.* Non-linearity in ecosystem services: Temporal and spatial variability in coastal protection. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 1, p. 29–37, 2009.
- KULP, S. A.; STRAUSS, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. **Nature Communications**, 2019.
- KUMAR, P. **Integrando a economia da natureza: uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB**The Economics of ecosystems and biodiversity. p. 50, 2010.
- LAURANS, Y. *et al.* Economic valuation of ecosystem services from coral reefs in the South Pacific: Taking stock of recent experience. **Journal of Environmental Management**, v. 116, p. 135–144, 2013.
- LAYMAN, C. A. *et al.* Provision of ecosystem services by human-made structures in a highly impacted estuary. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 4, p. 044009, 1 abr. 2014.
- LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; LINS, J. E. A pesca de polvos no arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 271–280, 2008.
- LEMKE, L.; MILLER, J. K. EOF analysis of shoreline and beach slope variability at a feeder beach constructed within a groin field at Long Branch, New Jersey. **Coastal Engineering**, v. 121, n. November 2016, p. 14–25, 2017.
- LIQUETE, C. *et al.* Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, 2013.
- MALLMANN, D. *et al.* Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169–190, 2014.
- MARRE, J.-B. *et al.* Non-market use and non-use values for preserving ecosystem services over time: A choice experiment application to coral reef ecosystems in New Caledonia. **Ocean & Coastal Management**, v. 105, p. 1–14, mar. 2015.

- MARTÍNEZ-SASTRE, R. *et al.* Mediterranean landscapes under change: Combining social multicriteria evaluation and the ecosystem services framework for land use planning. **Land Use Policy**, v. 67, n. October 2016, p. 472–486, 2017.
- MARTINS, K. A. *et al.* Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, 2016.
- MARTINS, K. A. *et al.* The Influence of Climate Change on Coastal Erosion Vulnerability in Northeast Brazil. **Coastal Engineering Journal**, v. 59, n. 2, p. 1740007-1-1740007–25, 2017.
- MARTINS, K. A. *et al.* The Role of Coral Reefs in Coastal Protection: Analysis of Beach Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. 92, n. sp1, p. 157, 1 jul. 2019.
- MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785–800, 1993.
- MEA, MILENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Conceptual Framework Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment**. p. 263, 2003.
- MEHTA, V. M. *et al.* Decadal Variability of the Tropical Atlantic Ocean Surface Temperature in Shipboard Measurements and in a Global Ocean-Atmosphere Model. **Journal of Climate**, v. 8, n. 2, p. 172–190, 1995.
- MEHVAR, S. *et al.* Quantifying Economic Value of Coastal Ecosystem Services: A Review. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 6, n. 1, p. art.5, 9 jan. 2018.
- MESSNER, F. *et al.* **Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures**. p. 178, 2007.
- MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215–233, 1999a.
- _____. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215–233, 1999b.
- MOBERG, F.; RÖNNBÄCK, P. Ecosystem services of the tropical seascape: Interactions, substitutions and restoration. **Ocean and Coastal Management**, v. 46, n. 1–2, p. 27–46, jan. 2003.
- MOONEY, H. *et al.* Biodiversity, climate change, and ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, p. 46–54, 2009.
- MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília, BR. p. 135, 1997.

MOURA, M. S. M. **Pescadores artesanais em Ipojuca: análise da vulnerabilidade socioambiental associada à construção da Refinaria Abreu e Lima, Pernambuco.** [s.l.] Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.

MUMBY, P. J. *et al.* Coral Reef Habitats as Surrogates of Species, Ecological Functions, and Ecosystem Services. **Conservation Biology**, v. 22, n. 4, p. 941–951, ago. 2008.

MUÑOZ, J. M. B.; BARRERA, F. B. Litorales. *In: Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas.* Espanha. p. 673–738, 2010.

PAGIOLA, S.; BISHOP, J. **Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation** *Environmental Economics Series*. N° 101, p. 23, 2004.

PASCAL, N. *et al.* Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: A pragmatic approach. **Ecosystem Services**, v. 21, p. 72–80, out. 2016.

PASTOROK, R.; BILYARD, G. Effects of sewage pollution on coral-reef communities. **Marine Ecology Progress Series**, v. 21, p. 175–189, 1985.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. Economics of Natural Resources and the Environment. **Land Economics**, v. 67, n. 2, p. 272, maio 1991.

PENDLETON, L. H. *et al.* Has the value of global marine and coastal ecosystem services changed? **Marine Policy**, v. 64, p. 156–158, fev. 2016.

PEREIRA, P. S. *et al.* **Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco.** Recife. p. 98, 2015.

PEREIRA, P. S.; ARAUJO, T. C.; VAZ MANSO, V. A. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. *In: FINKL, C. W. (Ed.). . Brazilian Beach Systems.* Florida: Springer, 2016. p. 251–279.

PERNAMBUCO. **Decreto Estadual nº 21.972, de 29 de dezembro de 1999. Aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro – ZEEC do Litoral Sul de Pernambuco, e dá outras providências** Pernambuco, 1999. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br>>

PEYRE, M. K. LA *et al.* Temporal variation in development of ecosystem services from oyster reef restoration. **Ecological Engineering**, v. 63, p. 34–44, fev. 2014.

PLOEG, S. VAN DER; GROOT, R. S. DE. **The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services.** Wageningen, the Netherlands.

PRASETYA, G. **Protection from coastal erosion** (S. BRAATZ *et al.*, Eds.) Coastal protection in the aftermath of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees? Proceedings of the Regional Technical Workshop. Khao Lak, Thailand. p. 28–31, 2006

PRÊMIO VIAGEM E TURISMO 2010: **Porto de Galinhas eleita melhor praia do Brasil pela 10ª vez consecutiva**. Disponível em: viagemeturismo.abril.com.br. Acessado em: 02 de janeiro de 2020.

RAO, N. S. *et al.* Global values of coastal ecosystem services: A spatial economic analysis of shoreline protection values. **Ecosystem Services**, v. 11, p. 95–105, fev. 2015.

RASCLE, N.; ARDHUIN, F. A global wave parameter database for geophysical applications. Part 2: Model validation with improved source term parameterization. **Ocean Modelling**, v. 70, p. 174–188, 2013.

REES, S. E. *et al.* The socio-economic effects of a Marine Protected Area on the ecosystem service of leisure and recreation. **Marine Policy**, v. 62, p. 144–152, dez. 2015.

RIBEIRO, F. A. *et al.* Análise quali-quantitativa das populações algáceas de um trecho recifal na praia de Boa Viagem, PE. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 2, p. 222–228, 2008.

ROELVINK, D. *et al.* XBeach model description and manual. **Unesco-IHE Institute for Water Education**, p. 106, 2010.

ROGERS, A. *et al.* Anticipative management for coral reef ecosystem services in the 21st century. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 504–514, fev. 2015.

RUGGERI, J. Government investment in natural capital. **Ecological Economics**, v. 68, n. 6, p. 1723–1739, abr. 2009.

SANCHIRICO, J. N.; MUMBY, P. Mapping ecosystem functions to the valuation of ecosystem services: implications of species–habitat associations for coastal land-use decisions. **Theoretical Ecology**, v. 2, n. 2, p. 67–77, 8 jun. 2009.

SANCHIRICO, J. N.; SPRINGBORN, M. How to Get There From Here: Ecological and Economic Dynamics of Ecosystem Service Provision. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 243–267, fev. 2011.

SANTOS, N. 2018. **Porto de Galinhas recebeu mais de 1 milhão de turistas**. Disponível em: www1.leiaja.com/noticias. Acessado em: 02 de janeiro de 2020.

SARMENTO, V. C.; SANTOS, P. J. P. Trampling on coral reefs: Tourism effects on harpacticoid copepods. **Coral Reefs**, v. 31, n. 1, p. 135–146, 2012.

SCHÄGNER, J. P. *et al.* Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects. **Ecosystem Services**, v. 4, p. 33–46, 2013.

SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L. Ecosystem-Based Knowledge and Management as a tool for Integrated Coastal and Ocean Management: A Brazilian Initiative. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 690–694, 3 mar. 2016.

SHEEHAN, E. V.; BRIDGER, D.; ATTRILL, M. J. The ecosystem service value of living versus dead biogenic reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 154, p. 248–254, 2015.

SHEPPARD, C. *et al.* Coral mortality increases wave energy reaching shores protected by reef flats: Examples from the Seychelles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 64, n. 2–3, p. 223–234, ago. 2005.

SHORT, A. D. Australian Beach Systems-Nature and Distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 11–27, 2006.

SHORT, A. D. Coastal Processes and Beaches. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 1–15, 2012.

SHORT, A. D.; TREMBANIS, A. C. Decadal Scale Patterns in Beach Oscillation and Rotation Narrabeen Beach, Australia—Time Series, PCA and Wavelet Analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 202, p. 523–532, 2004.

SILVA, J. F. *et al.* Growth of the tropical zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) on reefs in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 87, n. 2, p. 985–996, 2015.

SILVA, R. G. DA; LIMA, J. E. DE. Valoração contingente do parque “Chico Mendes”: uma aplicação probabilística do método Referendum com bidding games. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 4, p. 685–708, dez. 2004.

SMALL, N.; MUNDAY, M.; DURANCE, I. The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. **Global Environmental Change**, v. 44, p. 57–67, maio 2017.

SOSMA. **Programa para a conservação das zonas costeira e marinha sob influência do bioma mata atlântica**. p. 10, 2012.

SPALDING, M. *et al.* Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. **Marine Policy**, v. 82, p. 104–113, ago. 2017.

STOECKL, N. *et al.* The economic value of ecosystem services in the Great Barrier Reef: Our state of knowledge. In: COSTANZA, R.; LIMBURG, K.; KUBISZEWSKI, I. (Eds.). **Ecological Economics Reviews**. [s.l.] Annals of the New York Academy of Sciences, 2011. v. 1219p. 113–133.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH-IIITM version 3.14** Technical note, 2009.

TROY, A.; WILSON, M. A. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. **Ecological Economics**, v. 60, n. 2, p. 435–449, 2006.

USACE. Part II: Chapter 1 - Water Wave Mechanics. In: MIRBILEK, Z. (Ed.). . **Coastal engineering manual, Part II, Coastal Hydrodynamics**. Washington, DC. p. 1–172.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. *et al.* Padrão espacial da comunidade de macroalgas de mesolitoral em ambiente recifal do nordeste brasileiro. **Tropical Oceanography**, v. 41, n. 1–2, p. 84–92, 2013.

VILLA, F. *et al.* A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, 2014.

VINÍCIUS, M.; FINCO, A.; ABDALLAH, P. R. Valoração Econômica Do Meio Ambiente: O Método Do Custo De Viagem Aplicado Ao Litoral Do Rio Grande Do Sul. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 10, n. 18, p. 15, 2002.

VOUSDOKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; PLOMARITIS, T. A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth-Science Reviews**, v. 85, n. 1–2, p. 23–46, 2007.

WAYCOTT, M. *et al.* Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 30, p. 12377–12380, 2009.

WELLS, S.; RAVILIOUS, C.; CORCORAN, E. Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs. **In the front line**, p. 33, 2006.

WOODHEAD, A. J. *et al.* Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. **Functional Ecology**, v. 33, n. 6, p. 1023–1034, 28 mar. 2019.

WRI, W. R. I. Economic implications of coral reef degradation. In: BURKE, L.; MAIDENS, J. (Eds.). . **Reefs at risk in the Caribbean**. p. 52–59, 2004.

YEE, S. H. *et al.* Developing scientific information to support decisions for sustainable coral reef ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 115, p. 39–50, jul. 2015.

YEE, S. H.; DITTMAR, J. A.; OLIVER, L. M. Comparison of methods for quantifying reef ecosystem services: A case study mapping services for St. Croix, USVI. **Ecosystem Services**, v. 8, p. 1–15, jun. 2014.

ZANTEN, B. T. V. VAN; BEUKERING, P. J. . VAN; WAGTENDONK, A. J. Coastal protection by coral reefs: A framework for spatial assessment and economic valuation. **Ocean and Coastal Management**, v. 96, p. 94–103, 2014

ANEXO A - SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EXERCIDOS POR RECIFES

Lista de serviços ecossistêmicos para regiões de recifes ao redor do mundo, descritos na bibliografia analisada:

Serviços ecossistêmicos exercidos por recifes.

Código	Código CICES	Descrição do serviço
1	1.1.5.1	Plantas (algas/fungos) usados na alimentação
2	1.1.5.2	Plantas (algas/fungos) usados para outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)
3	1.1.6.1	Animais usados na alimentação
4	1.1.6.2	Animais usados para outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)
5	1.2.1.2	Material genético de plantas (algas/fungos) usados para repovoamento
6	1.2.2.1	Material genético de animais (algas/fungos) usados para repovoamento
7	4.3.1.2 / 4.3.1.1	Minerais usados na alimentação ou outros fins (artesanato, construção, fertilizante, ...)
8	2.1.1.1	Transformação biogeoquímica e/ou física de esgoto/dejetos
9	2.2.1.1	Comunidade biológica atuando no controle de erosão/estabilização de sedimentos
10	2.2.1.3	Regulação física da circulação de água atuando no controle de inundação
11	2.2.2.1	Facilitação da dispersão/fecundação de espécies
12	2.2.2.2	Dispersão de sementes de espécies de plantas costeiras (mangue)
13	2.2.2.3	Berçário de espécies
14	2.2.5.2	Manutenção e viabilização de habitats
15	5.1.1.1	Diluição de poluentes
16	3.1.1.1	Prática de esporte e recreação
17	3.1.1.2 / 3.1.2.4 / 3.2.1.3	Observação da paisagem (relaxamento), beleza cênica
18	3.1.2.1 / 6.1.2.1	Desenvolvimento de pesquisas
19	3.1.2.2 / 6.1.2.1	Local de ensino
20	3.1.2.3 / 3.2.1.1 / 6.1.2.1	Patrimônio histórico/cultural
21	3.2.1.2	Fins religiosos
22	3.2.2.2 / 6.2.2.1	Intenção de uso futuro

ANEXO A1 – Continuação. Sumário das informações presentes nos artigos científicos utilizados como fundamentos para definir os possíveis SEs existentes nos recifes de Ipojuca, PE – Brasil.

	Fonte	Ecossistemas analisados	Serviços descritos para recifes de coral	Valor monetário
1	(Arkema <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral -Belize Manguezal Pradarias submersas	3;9;17;18	1.4 mi US\$/km ² /ano
2	(Armstrong <i>et al.</i> , 2014)	Recifes de alta latitude - Noruega	4;2;6;13;14;18;19;20	-
3	(Ban <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral – Austrália	1;3;7;13;14;16;17;20	-
4	(Barbier <i>et al.</i> , 2011)	Marisma - global Manguezal Recife de coral Pradaria submersa Praia arenosa	1-7;9-14;6-20	1,74 mil US\$/km ² /ano
5	(Barbier, 2016)	Manguezal - global	9;10	-
6	(Barbier, 2017)	Ambientes marinhos costeiros – global: Estuários Manguezal Pradarias submersas Recifes	1-22	-
7	(Beck <i>et al.</i> , 2018)	Recifes	9;10	400 mi US\$/ano/por país analisado
8	(Bremer <i>et al.</i> , 2015)	Ambientes marinhos - Hawaii (geral, incluindo recifes)	1-4;9-20	-
9	(Butler <i>et al.</i> , 2013)	Ambientes marinhos – Papua Nova Guiné (geral, incluindo recifes)	1-4;7	-
10	(Butler <i>et al.</i> , 2014)	Recifes - Austrália	3;4;8;12;13;14;15;16;17;20	-
11	(Byers <i>et al.</i> , 2014)	Recifes de ostras - laboratório	8	-
12	(Costanza <i>et al.</i> , 2014)	Revisão: Diversos ambientes, marinhos e aquáticos	9;10;16;17	Revisão: de 3,6 mi US\$/km ² /ano a 213 mi US\$/km ² /ano
13	(Chen <i>et al.</i> , 2013)	Recifes Artificiais - Taiwan	3;4;16;17	89 mi US\$/ano
14	(Daw <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral Pradarias submersas - Quênia	1;2	-
15	(Groot, De <i>et al.</i> , 2013)	Ambientes marinhos – Global (incluindo recifes)	Foco na análise econômica, não cita serviços	2.6 mi US\$/ano
16	(Failler <i>et al.</i> , 2015)	Recife de coral Pradaria submersa	1-7;9-21	1.89 mi US\$/km ² /ano

ANEXO A1 – Continuação. Sumário das informações presentes nos artigos científicos utilizados como fundamentos para definir os possíveis SEs existentes nos recifes de Ipojuca, PE – Brasil.

	Fonte	Ecossistemas analisados	Serviços descritos para recifes de coral	Valor monetário
		Manguezal – Caribe (incluindo recifes)		
17	(Gedan, Kellogg e Breitburg, 2014)	Recife de ostras – EUA	8;14;15	-
18	(Grabowski <i>et al.</i> , 2012)	Recife de ostras - EUA	1-4;8-16;	5,5 mi a 9,9 mi US\$/km ² /ano
19	(Dunning, 2015)	Recife de coral – Indonésia	1-4;16;17	-
20	(Hernández-Delgado, 2015)	Ambientes costeiros – Porto Rico (incluindo recifes) (revisão)	1-22	35,2 mi US\$/km ² /ano (Costanza 2014)
21	(Hicks, Graham e Cinner, 2013)	Recifes de coral – global (manejo)	1-22	-
22	(Hicks e Cinner, 2014)	Recifes de coral – global (manejo)	1-22	-
23	(Hicks <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral – global (revisão)	1-22	-
24	(Higgins <i>et al.</i> , 2014)	Recifes de coral – Austrália (manejo)	Foco na aplicação de um plano baseado em serviços ecossistêmicos, mas não cita serviços	-
25	(Johns <i>et al.</i> , 2014)	Recifes - EUA	1-5;9;10;16-22	Valoração em índice, não econômica
26	(Kaiser <i>et al.</i> , 2013)	Recifes de coral Manguezal Marismas Praias - Tailândia	1;3;5;6;8-20	-
27	(Kent <i>et al.</i> , 2016)	Recifes de ostras - UK	1;3;11-14	-
28	(Koch <i>et al.</i> , 2009)	Recifes de coral Manguezal Marisma Pradaria submersa - Global	9;10	-
29	(Peyre, La <i>et al.</i> , 2014)	Recifes de ostras em estuário – USA	11-15	-
30	(Laurans <i>et al.</i> , 2013)	Recifes de coral – Pacífico Sul	1-4;9;10;19;21;22	Valores de revisão
31	(Layman <i>et al.</i> , 2014)	Recifes de ostras em estuário – USA	8;15	-
32	(Marre <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral – Nova Caledônia	1-4;8;11-17;22	Valoração não econômica
33	(Mehvar <i>et al.</i> , 2018)	Ambientes costeiros	1-22	-

ANEXO A1 – Continuação. Sumário das informações presentes nos artigos científicos utilizados como fundamentos para definir os possíveis SEs existentes nos recifes de Ipojuca, PE – Brasil.

	Fonte	Ecossistemas analisados	Serviços descritos para recifes de coral	Valor monetário
		(incluindo recifes) - global		
34	(Moberg e Rönnbäck, 2003)	Ambientes marinhos (incluindo recifes) – global	1-22	-
35	(Mooney <i>et al.</i> , 2009)	Ambientes marinhos (incluindo recifes) – global	1-6;8;11-17	-
36	(Mumby <i>et al.</i> , 2008)	Manguezal Pradaria submersa Recifes de coral – global	1-4;7;8-19	-
37	(Pascal <i>et al.</i> , 2016)	Recifes de coral	9;10	Valoração não econômica
38	(Pendleton <i>et al.</i> , 2016)	Ambientes marinhos (incluindo recifes) – global	Crítica a valoração, não cita serviços	-
39	(Rao <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral Manguezal Marisma	9;10	253 mil US\$/km ² /ano
40	(Rees <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de alta latitude - UK	16;17	15 mil US\$/km ² /ano em 2008
41	(Rogers <i>et al.</i> , 2015)	Recifes de coral	1;17	-
42	(Sanchirico e Mumby, 2009)	Manguezal Pradarias submersas Recifes de coral	1-4;11-14	Método para valoração de pesca
43	(Sanchirico e Springborn, 2011)	Manguezal Pradarias submersas Recifes de coral	1-4;9;10-15	-
44	(Sheehan, Bridger e Attrill, 2015)	Recife de coral - Caribe	1;7;11-14;15	-
45	(Spalding <i>et al.</i> , 2017)	Recifes de coral	16;17;20	36 bi US\$
46	(Stoeckl <i>et al.</i> , 2011)	Recifes de coral - Austrália	1-20	Revisão
47	(Woodhead <i>et al.</i> , 2019)	Recifes	1-20	-
48	(Yee, Dittmar e Oliver, 2014)	Recife de coral – Caribe	1-7;9-15;16;17	-
49	(Yee <i>et al.</i> , 2015)	Recifes	1;3;16	-
50	(Zanten, Beukering e Wagtendonk, 2014)	Recifes de coral - Ilhas Virgens Americanas	9;10	1,2 mi US\$/ano

Fonte: a autora.

ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Questionário

A seguir está o questionário respondido por especialistas nas áreas de serviços ecossistêmicos e/ou de recifes de corais com conhecimento sobre a área de estudo, a fim de colaborar na identificação dos serviços ecossistêmicos da região de Ipojuca, PE - Brasil:

Serviços ecossistêmicos relacionados aos recifes de coral do litoral de Ipojuca

Uma forma de compreender a importância dos ecossistemas é através da identificação dos serviços ecossistêmicos, os quais podem ser definidos como as interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e hidrológica. Os benefícios que os recifes de coral ofertam através dos serviços de abastecimento, regulação, culturais e de suporte são fundamentais para o bem-estar humano.

O objetivo deste questionário é definir quais os serviços ecossistêmicos de recifes de corais já descritos na literatura que existem no litoral de Ipojuca, PE - Brasil.

Sua contribuição para o projeto:

1. Nesta pesquisa, será pedido que você responda sobre a existência de alguns serviços ecossistêmicos na região dos recifes de porto de Galinhas. Para isso, você deverá marcar:
 - ✓ SIM, caso exista tal serviço na região;
 - ✓ NÃO, caso tal serviço não ocorra na região ou você não tenha informação a respeito.
2. Se sua resposta foi “SIM”, por favor classifique a importância deste serviço para a vida da comunidade que usufrui deste serviço (para atividades com ou sem fins lucrativos):
 - ✓ BAIXA, caso o serviço seja pouco utilizado pela comunidade; se o benefício para a comunidade for baixo ou irrelevante
 - ✓ MÉDIA, caso o serviço seja utilizado moderadamente pela comunidade;
 - ✓ ALTA, caso o serviço seja intensamente utilizado pela comunidade.
3. Se sua primeira resposta foi “SIM”, qual grupo social que se beneficia

4. Caso tenha conhecimento, por favor liste alguns impactos ambientais e pressões que podem alterar a provisão do serviço em questão.

Exemplos:

Serviço	Existe	Usos	Importância para o uso	Beneficiários do serviço	Impactos no serviço
Macroalgas disponíveis para coleta	(X) Sim () Não	(X) Alimentação () Indústria	() Alta () Média (X) Baixa () Alta () Média () Baixa	(X) Comunidade local () Indústria	Poluição, arrasto de fundo
Estoque pesqueiro	(X) Sim () Não	(X) Alimentação () Indústria	() Alta () Média (X) Baixa () Alta () Média () Baixa		Sobrepesca, poluição

Fonte: a autora.

ANEXO 2 – Continuação. Questionário: Serviços ecossistêmicos relacionados aos recifes de coral do litoral de Ipojuca, PE – Brasil.

Serviço	Existe	Usos	Importância para o uso	Beneficiários do serviço	Impactos no serviço
Macroalgas disponíveis para coleta	() Sim () Não	() Alimentação () Indústria	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Comunidade local () Empresários industriais	_____ _____
Observações:					
Estoque pesqueiro (peixes, crustáceos e moluscos)	() Sim () Não	() Alimentação () Indústria () Recreação	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Pescadores artesanais () Coletores de mariscos () Turista (pesca esportiva) () Pescadores industriais	_____ _____ _____ _____
Observações:					
População de peixes de interesse ornamental e outros fins	() Sim () Não	() Artesanato () Ornamentais	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Aquaristas () Artesãos () Comunidade local	_____ _____ _____
Observações:					
População vegetal como banco genético	() Sim () Não	() Repovoamento () Conservação () Aquicultura	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral () ONG's () Prefeitura () Pesquisadores () Fazendeiros	_____ _____ _____ _____ _____
Observações:					
População animal como banco genético	() Sim () Não	() Repovoamento () Conservação () Aquicultura	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral () ONG's () Prefeitura () Pesquisadores () Fazendeiros	_____ _____ _____ _____ _____

ANEXO 2 – Continuação. Questionário: Serviços ecossistêmicos relacionados aos recifes de coral do litoral de Ipojuca, PE – Brasil.

Serviço	Existe	Usos	Importância para o uso	Beneficiários do serviço	Impactos no serviço
Observações:					
Depósito de calcário	() Sim () Não	() Cosméticos () Indústria	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Construção civil () Comunidade geral () Pesquisadores () Ind. farmacêutica e cosmética	_____ _____
Observações:					
Biorremediação de resíduos domésticos e industriais	() Sim () Não	Local de despejo de resíduos: () industriais () domésticos () de pesca	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Empresários industriais () COMPESA () Moradores () Donos de hotéis () Pescadores	_____ _____
Observações:					
Fundos de algas e recifes de coral que contribuem para a proteção costeira	() Sim () Não	() Proteção à inundação () Proteção à erosão () Local para banhistas (retenção de sedimentos)	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Moradores () Prefeitura () Barraqueiros () Ambulantes	_____ _____
Observações:					
Dispersão de gametas, Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida	() Sim () Não	() Manutenção da população biológica	() Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral () Agentes de turismo	_____ _____
Observações:					

ANEXO 2 – Continuação. Questionário: Serviços ecossistêmicos relacionados aos recifes de coral do litoral de Ipojuca, PE – Brasil.

Serviço	Existe	Usos	Importância para o uso	Beneficiários do serviço	Impactos no serviço
Recreação esportiva	() Sim () Não	() Mergulho () Natação () Surfe () Caminhada () Yoga	() Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa () Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral () Agentes de turismo () Turistas () Educadores físicos	_____ _____
Observações:					
Corais, peixes, e outras espécies que podem ser apreciados por observadores da vida selvagem	() Sim () Não	() Contemplação	() Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral () Agentes de turismo () Turistas	_____ _____
Observações:					
Local de especial interesse científico	() Sim () Não	() Pesquisa	() Alta () Média () Baixa	() Comunidade acadêmica () Empresas de consultoria ambiental () ONGs () Institutos de pesquisa	_____ _____ _____ _____
Observações:					
Local usado para projetos de conservação, educação ambiental	() Sim () Não	() Educação ambiental	() Alta () Média () Baixa	() ONGs () Escolas () Comunidade acadêmica	_____ _____ _____
Observações:					

ANEXO 2 – Continuação. Questionário: Serviços ecossistêmicos relacionados aos recifes de coral do litoral de Ipojuca, PE – Brasil.

Serviço	Existe	Usos	Importância para o uso	Beneficiários do serviço	Impactos no serviço
Espécies ou aspectos do ambiente que tem significado espiritual	() Sim	() Oração	() Alta () Média () Baixa	() Fiéis	_____
	() Não	() Meditação	() Alta () Média () Baixa	() Comunidade geral	_____

Observações:

Fonte: a autora.

ANEXO C – SUMÁRIO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.									
Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Provisão	1.1.5.1	Macroalgas disponíveis para coleta	Algas para alimentação	Não é utilizado	-	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Alimentos de origem vegetal
Provisão	1.1.5.2	Macroalgas e corais disponíveis para coleta	Algas calcárias como fonte de calcário. Corais para utilização como agregado na construção. Corais utilizados para artesanato	Não é utilizado	-	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Materiais de origem vegetal
Provisão	1.1.6.1	Estoque pesqueiro	Peixes, crustáceos e moluscos para alimentação	Pescadores, coletores	Alimentação - Alta Recreação - Alta	Poluição	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Alimentos de origem animal

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Provisão	1.1.6.2	População de peixes de interesse ornamental e outros fins	Animais coletados para aquarismo. Conchas e escamas usadas em artesanato. Pequenos animais usados como isca na pesca.	Aquaristas, artesãos – a retirada de organismos vivos é proibida	Artesanato – Baixo Aquário - Média	Poluição, pisoteio nos recifes	Alteração na composição das espécies	Diminuição/aumento da espécie de interesse	Materiais de origem animal
Provisão	1.2.1.2	População vegetal como banco genético	Espécies de plantas, algas ou fungos usados para repovoamento com fim de conservação, criação de novos habitats, ou produção aquícola	Não é utilizado	-	Poluição, pisoteio, rede de arrasto, superexploração	Alteração na composição das espécies	Extinção de espécies de interesse	Plantas que podem ser usadas para reprodução para manter populações ou desenvolver novas variedades
Provisão	1.2.2.1	População animal como banco genético	Espécies animais usadas para repovoamento com fim de conservação ou cultivo em cativeiro	Não é utilizado	-	Poluição, pisoteio, rede de arrasto, superexploração	Alteração na composição das espécies	Extinção de espécies de interesse	Animais que podem ser usados para repovoamento
Provisão	4.3.1.2 / 4.3.1.1	Depósito de calcário	Calcário utilizado na indústria de ração animal e de construção	Não é utilizado – a retirada é proibida	-	Poluição	Diminuição do aporte do mineral	Diminuição no volume extraído	Materiais inorgânicos que podemos utilizar para alimentação ou outros fins

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Regulação	2.1.1.1	Biorremediação de resíduos domésticos e industriais	Eliminação sustentável de resíduos	Município Empresários industriais COMPESA Moradores Donos de hotéis	Dejetos domésticos – Alta Industrial – Baixa	Poluição	Alteração na composição das espécies	Diminuição da eficiência na eliminação de resíduos	Capacidade de decompor resíduos, que mitiga seus efeitos nocivos e reduz custos de descarte por outros meios
Regulação	2.2.1.1	Fundos de algas e recifes de coral que contribuem para a estabilização dos sedimentos	Redução de danos (e custos associados) da perda de sedimentos da praia	Comunidade geral, Moradores Prefeitura Barraqueiros Ambulantes	Proteção de inundação – Alta De erosão – Alta Turistas (praia mais larga) - Alta	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição da cobertura e rugosidade do substrato que estabiliza os sedimentos	Controle ou prevenção da perda de sedimento em virtude dos efeitos estabilizadores da presença de estruturas, biológicas ou não, que mitigam ou previnem danos potenciais ao uso humano do meio ambiente ou à segurança

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Regulação	2.2.1.3	Fundos de macroalgas e recifes de coral que contribuem para a atenuação da energia das ondas e prevenção de inundações	Redução de danos (e custos associados) como resultado de eventos de inundação e tempestade	Comunidade geral, Moradores Prefeitura Barraqueiros Ambulantes	Proteção de inundação – Alta De erosão – Alta	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição da cobertura e rugosidade do substrato que contribui para a dissipação de energia e controle de inundação	Regulação do fluxo de água, em virtude das propriedades químicas ou físicas dos ecossistemas.
Regulação	2.2.2.1	Dispersão de gametas, especialmente de espécies que requerem um ambiente hidrodinâmico calmo	Contribui para o crescimento/manutenção das espécies	Comunidade geral	Manutenção da população - Alta				Reprodução vegetal e animal, que mantém ou aumenta a abundância e/ou diversidade de espécies que as pessoas usam ou desfrutam
Regulação	2.2.2.2	Dispersão de espécies continentais, como árvores de mangue	Manutenção/reflorestamento de manguezais	Comunidade geral	Manutenção da população - Alta				Dispersão de sementes de espécies terrestres, que são importantes para as pessoas

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Regulação	2.2.2.3	Habitat de desenvolvimento das primeiras fases da vida de algumas espécies (ou de toda a vida)	Manutenção de populações de espécies importantes ou icônicas que contribuem para um serviço em outro ecossistema.	Comunidade geral, agentes de turismo, pescadores, artesãos	Manutenção da população - Alta	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/aumento da espécie de interesse	Habitats para plantas e animais, condições ecológicas (normalmente habitats) necessárias para sustentar populações de espécies que as pessoas usam ou apreciam
Regulação	2.2.5.2	Comunidades de peixes/algas que regulam a resiliência e resistência dos recifes de coral à eutrofização	Saúde dos recifes de corais e manutenção dos seus benefícios	Comunidade geral	Manutenção da biodiversidade - Alta	Poluição, pisoteio	Alteração na composição das espécies	Diminuição da resiliência	Regulação biológica da composição química da água, que permitem o uso humano

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.									
Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Regulação	5.1.1.1	Uso de sistema marinho como sumidouro de poluição	Redução dos custos eliminação de resíduos	Município	Dejetos domésticos – Alta Industrial – Baixa			Eutrofização no sistema	Diluição de poluentes, a redução na concentração de substâncias orgânicas ou inorgânicas, que mitiga seus efeitos nocivos e reduz os custos de descarte por outros meios
Cultural	3.1.1.1	Oportunidades para mergulho, natação e surfe	Recreação baseada na natureza através de atividades físicas; desestressar ou melhorar a saúde mental	Comunidade geral, agentes de turismo, donos de hotéis	Mergulho, Natação, Surfe, Caminhada - Alta	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Características do ambiente que permitem a prática de esporte e recreação; usando a natureza para ajudar a ficar em forma

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Cultural	3.1.1.2 / 3.1.2.4 / 3.2.1.3	Corais, peixes, e outras espécies que podem ser apreciados por observadores da vida selvagem	Recreação, fitness; desestressar ou melhorar a saúde mental; ecoturismo	Comunidade geral, agentes de turismo, donos de hotéis	Contemplação - Alta	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Descaracterização do ambiente natural	Características da natureza que podem ser observadas para relaxamento/ A beleza da natureza / Uso da natureza na arte, ou apreciado de outras formas passivas em virtude de sons e cheiros etc.
Cultural	3.1.2.1 / 6.1.2.1	Local de especial interesse científico	Conhecimento sobre o meio ambiente e a natureza	Comunidade acadêmica, entidades de pesquisa	Pesquisa – Alta	Poluição, pisoteio, superexploração	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Pesquisas científicas
Cultural	3.1.2.2 / 6.1.2.1	Local usado para projetos de conservação, educação ambiental	Habilidades ou conhecimento sobre gestão ambiental	Comunidade acadêmica, projetos de proteção ambiental, escolas	Educação ambiental – Alta Conservação - Média	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/ aumento da espécie de interesse	Características da natureza para ensino, que são o assunto para o ensino ou requisitos para desenvolvimento de habilidades

ANEXO 3 – Continuação. Sumário dos resultados do questionário sobre serviços ecossistêmicos de recifes de Ipojuca, PE - Brasil.

Classificação	Código CICES	Serviço	Benefícios	Beneficiários	Uso e Importância	Estressores ambientais que afetam o serviço	Indicador do impacto	Impactos no serviço	Descrição
Cultural	3.1.2.3 / 3.2.1.1 / 6.1.2.1	Ralação/respeito da comunidade local pelo ecossistema	Turismo, identidade local	Comunidade geral, agentes de turismo, donos de hotéis	Manutenção do ecossistema - Baixa	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/aumento da espécie de interesse	Características que ajudam as pessoas a se identificarem com a história ou cultura de onde elas vivem ou vêm / Usando a natureza como um emblema nacional ou local
Cultural	3.2.1.2	Espécies ou aspectos do ambiente que tem significado espiritual	Bem-estar mental	Nenhum	-	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/aumento da espécie de interesse	As coisas na natureza que têm importância espiritual para as pessoas
Cultural	3.2.2.2 / 6.2.2.1	Espécies ou habitats ameaçados de extinção	Bem-estar moral	Comunidade geral	Manutenção do ecossistema - Baixa	Poluição, pisoteio, rede de arrasto	Alteração na composição das espécies	Diminuição/aumento da espécie de interesse	As coisas na natureza, que as pessoas procuram preservar para as gerações futuras por qualquer motivo

Fonte: a autora.