

Indicadores de sustentabilidade: Avaliação do Índice de Pressão Ambiental Costeira (IPAC) no ecossistema Manguezal da APA de Guadalupe – Sirinhaém (PE) e restinga das praias dos Carneiros e Tamandaré (PE)

Sustainability indicators: Assessment of the Coastal Environmental Pressure Index (IPAC) in the mangrove ecosystem of the Guadalupe-Sirinhaém Environmental Protection Area (PE) and the coastal vegetation of Carneiros and Tamandaré beaches (PE)

Anderson José da Silva Fonseca
Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: anderson.fonseca@ufpe.br

Franciele Maria Costa Ferreira
Universidade Federal de Pernambuco
E-mail: franciele.costa@ufpe.br

Monty Finn Neumann
Christian-Albrechts Universität zu Kiel
E-mail: neumann.monty@gmail.com

Resumo

A Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe, no litoral sul de Pernambuco, entre os municípios de Sirinhaém e Tamandaré, abriga ecossistemas costeiros estratégicos, como manguezais, restingas e praias, submetidos a crescentes pressões antrópicas. Este estudo teve como objetivo aplicar o Índice de Pressão Ambiental Costeira (IPAC) como instrumento analítico para a avaliação integrada dos impactos ambientais, fundamentado na abordagem teórica Pressão–Estado–Impacto–Resposta (PEIR). O índice foi estruturado em quatro eixos: biodiversidade, resíduos sólidos, modificação costeira e uso e ocupação do solo, com pontuação variando de 0 a 12. A metodologia envolveu observação direta, registros fotográficos georreferenciados e aplicação de checklists ambientais em diferentes trechos da APA de Guadalupe, Praia dos Carneiros e Praia de Tamandaré. Os resultados indicaram baixa a moderada pressão ambiental nos manguezais e elevada pressão nas áreas praias, sobretudo em Tamandaré, associada à intensificação do turismo, ao acúmulo de resíduos sólidos e à ocupação desordenada. O IPAC demonstrou robustez teórica e aplicabilidade prática, contribuindo para diagnósticos ambientais e para o suporte à gestão costeira integrada.

Palavras-chave: Zona costeira. Manguezais. Indicadores ambientais. Pressão antrópica.

Abstract

The Guadalupe Environmental Protection Area (APA), located on the southern coast of Pernambuco, Brazil, between the municipalities of Sirinhaém and Tamandaré, encompasses strategic coastal ecosystems such as mangroves, restingas, and beaches, which are increasingly subjected to anthropogenic pressures. This study aimed to apply the Coastal Environmental Pressure Index (IPAC) as an analytical tool for integrated environmental impact assessment, grounded in the theoretical framework of the Pressure–State–Impact–Response (PSIR) approach. The index was structured into four analytical axes: biodiversity, solid waste, coastal modification, and land use and occupation, with a total score ranging from 0 to 12. Methodological procedures included direct field observation, georeferenced photographic records, and the application of environmental checklists across selected sites within the APA of Guadalupe, Carneiros Beach, and Tamandaré Beach. The results revealed low to moderate environmental pressure in mangrove areas and high pressure in beach environments, particularly in Tamandaré, associated with intensified tourism, solid waste accumulation, and disordered coastal occupation. The IPAC proved to be both theoretically consistent and operationally effective, supporting coastal environmental diagnostics and integrated management strategies.

Keywords: Coastal zone. Mangroves. Environmental indicators. Anthropogenic pressure.

Introdução

Os ambientes costeiros desempenham funções ecológicas fundamentais, como a proteção da linha de costa, a manutenção da biodiversidade e o suporte às atividades pesqueiras, sendo ecossistemas altamente sensíveis às interferências humanas (Alongi, 2002). Manguezais e restingas, por atuarem como zonas de transição entre os ambientes continentais e marinhos, apresentam elevada vulnerabilidade frente à expansão urbana, ao turismo costeiro e ao uso inadequado do solo, processos que têm intensificado a degradação ambiental em regiões tropicais (Primavera, 2005; Duke et al., 2017).

No litoral sul de Pernambuco, a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe, situada entre os municípios de Sirinhaém e Tamandaré, concentra importantes ecossistemas costeiros, como manguezais, restingas e praias, coexistindo com uma dinâmica territorial fortemente influenciada pelo turismo e pela valorização imobiliária (figura 1). Embora a criação da unidade de conservação represente um avanço institucional, a ocupação desordenada da faixa costeira e o uso intensivo do território mantêm elevados níveis de pressão ambiental, gerando conflitos recorrentes entre conservação e desenvolvimento econômico (Selva, 2012; Rodrigues et al., 2023).

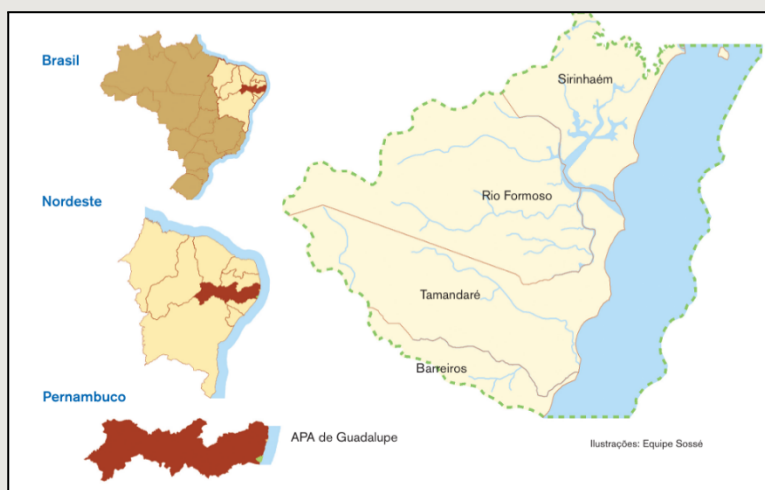


Figura 1 – Localização da APA de Guadalupe no litoral sul do estado de Pernambuco, Brasil.

Fonte: Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, 2018.

Nesse contexto, a utilização de indicadores ambientais torna-se estratégica para o diagnóstico e o monitoramento de impactos observáveis em campo. Esses instrumentos permitem integrar múltiplas variáveis ambientais em métricas simples e comparáveis, facilitando a interpretação dos impactos e subsidiando ações de gestão territorial. Entre as abordagens ambientais, destaca-se o modelo Pressão–Estado–Impacto–Resposta (PEIR), bastante aplicado por sua capacidade de relacionar atividades humanas, alterações ambientais e respostas dos ecossistemas de forma operacional.

Dessa forma, este estudo propõe a construção e aplicação do Índice de Pressão Ambiental Costeira (IPAC), baseado em observações diretas e em metodologias voltadas à avaliação de impactos ambientais em ambientes costeiros (Cordeiro; Costa, 2010; Jayapala et al., 2024). O índice é estruturado a partir de quatro eixos analíticos: biodiversidade, resíduos sólidos, modificação costeira e uso e ocupação do solo, permitindo a identificação de padrões espaciais de pressão ambiental ao longo da APA de Guadalupe. O IPAC busca contribuir de maneira prática para o diagnóstico ambiental, o monitoramento contínuo e o apoio à tomada de decisão no planejamento e na gestão costeira.

Metodologia

A avaliação da pressão ambiental nos ambientes costeiros da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe foi realizada por meio da aplicação do Índice de Pressão Ambiental Costeira (IPAC), um indicador sintético desenvolvido para integrar variáveis ambientais observáveis diretamente em campo. A construção do índice fundamenta-se no modelo Pressão–Estado–Impacto–Resposta (PEIR), amplamente empregado em estudos ambientais por sua

capacidade de relacionar atividades antrópicas, alterações ambientais e respostas dos ecossistemas de forma sistêmica e operacional (Ramos-Quintana, 2015; Rodrigues et al., 2023). A coleta de dados baseou-se em observação direta, registros fotográficos georreferenciados e aplicação de checklists ambientais em diferentes trechos de manguezal, restinga e praia.

O IPAC foi estruturado a partir de quatro eixos analíticos principais: Biodiversidade, Resíduos Sólidos, Modificação Costeira e Uso e Ocupação do Solo, priorizando indicadores passíveis de avaliação qualitativa e quantitativa em campo. Cada eixo foi composto por critérios relacionados à intensidade, frequência e potencial de reversibilidade dos impactos ambientais observados (Rodrigues et al., 2023). Para garantir padronização e comparabilidade entre os ambientes analisados, os indicadores foram classificados em uma escala ordinal de quatro níveis, variando de 0 (baixa pressão ambiental) a 3 (alta pressão ambiental), conforme metodologias consolidadas para avaliação de zonas costeiras (Ramos-Quintana, 2015). A Matriz de Classificação dos Indicadores (Tabela 1) estabeleceu os parâmetros conceituais e operacionais para a atribuição das pontuações em cada eixo.

Tabela 1 - Matriz de classificação dos indicadores analisados em campo

Eixo	0 – Baixa pressão	1 – Baixa-moderada	2 – Moderada-alta	3 – Alta-pressão
Biodiversidade (B)	Vegetação íntegra; ausência de danos visíveis; substrato estável; sinais de fauna típica presentes	Pequenos sinais de estresse (pisoteio leve, clareiras pequenas); regeneração ainda presente	Perda perceptível de cobertura/estrutura (clareiras amplas, erosão local); redução clara de regeneração/fauna	Degradação evidente: mortalidade/declínio, erosão acentuada, perda de funcionalidade e sinais persistentes de perturbação
Resíduos Sólidos (R)	Ausentes ou raros; sem acúmulos	Resíduos esparsos, baixa diversidade; sem “hotspots”	Resíduos frequentes e/ou diversidade alta; indícios de acúmulo em bordas/vegetação	Acúmulos evidentes (pontos de despejo) e/ou resíduos persistentes predominantes; contaminação visual recorrente
Modificação Costeira (M)	Ambiente natural sem obras/interferências; dinâmica costeira preservada	Intervenções leves (trilhas, estruturas temporárias pequenas)	Obras/estruturas presentes e influenciando a dinâmica (barreiras, contenções, aterros pontuais)	Forte artificialização: obras extensas, contenções rígidas, supressão/compactação, evidências de erosão/alteração induzida

Eixo	0 – Baixa pressão	1 – Baixa-moderada	2 – Moderada-alta	3 – Alta-pressão
Uso e Ocupação do Solo (U)	Baixa intensidade de uso; pouca presença humana/infraestrutu ra no entorno imediato	Uso turístico/comerci al sazonal e concentrado; ocupação ainda não dominante	Ocupação e uso intensos no entorno (comércio frequente, fluxo elevado, tráfego)	Ocupação desordenada e intensa: adensamento/obras, pressão contínua, evidências de descarte/serviços precários

Fonte: os autores (2025).

No eixo Biodiversidade, foram avaliados aspectos como integridade da vegetação, presença de indivíduos mortos, sinais de erosão e funcionalidade ecológica, conforme Alongi (2002) e Duke et al. (2017). O eixo Resíduos Sólidos considerou a quantidade, diversidade e distribuição espacial dos resíduos, com base em Cordeiro e Costa (2010) e Jayapala et al. (2024). A Modificação Costeira avaliou intervenções físicas diretas, como obras, aterros e processos erosivos induzidos, enquanto o Uso e Ocupação do Solo analisou a intensidade do uso turístico, presença de edificações, comércio e infraestrutura, reconhecidos como vetores de pressão ambiental em áreas costeiras protegidas (Primavera, 2005; Selva, 2012; Rodrigues et al., 2023).

Para cada eixo, as pontuações atribuídas aos pontos amostrais foram promediadas por meio da média aritmética simples, resultando em um valor médio por eixo para cada local avaliado. Em seguida, os resultados foram normalizados para uma escala entre 0 e 1, de acordo com a seguinte expressão:

$$B^* = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{B_j}{n}}{3}$$

Em que B^* corresponde ao indicador normalizado, B_j representa a pontuação atribuída ao ponto avaliado de acordo com a matriz de classificação, n é o número de pontos amostrais e 3 corresponde ao valor máximo da matriz de classificação. Ou seja, soma-se a pontuação do eixo de todos os pontos avaliados, calcula-se a média aritmética dessas pontuações e, em seguida, normaliza-se o resultado dividindo pelo valor máximo da matriz de classificação por 3.

O mesmo procedimento foi aplicado aos eixos Resíduos Sólidos (R), Modificação Costeira (M) e Uso e Ocupação do Solo (U). O valor final do IPAC foi obtido a partir da soma dos valores médios normalizados dos quatro eixos, dividida pelo valor máximo teórico (12), conforme a fórmula:

$$IPAC = \frac{B+R+M+U}{12}$$

O índice final varia entre 0 e 1 e sua interpretação segue a Classificação do IPAC apresentada na tabela 2: baixa pressão ambiental (0–0,33), pressão ambiental moderada (0,34–0,66) e alta pressão ambiental (0,67–1). Essa classificação permite sintetizar o grau de pressão ambiental costeira, associando valores numéricos a interpretações conceituais relacionadas à integridade ecológica, intensidade das pressões antrópicas e capacidade de resiliência dos ecossistemas avaliados, conforme adaptação do Atlas de Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Costeira e Mudanças Climáticas de Pernambuco (2015).

Tabela 2 – Classificação do IPAC

Intervalo do IPAC	Classe de pressão ambiental costeira	Interpretação conceitual
0 – 0,33	Baixa pressão ambiental	Indica áreas com alta integridade ecológica, baixa interferência antrópica direta e indireta, manutenção dos processos naturais e presença contínua de habitats costeiros funcionais (ex.: restinga preservada, manguezal íntegro, baixa carga de resíduos e ausência de obras estruturais).
0,34 - 0,66	Pressão ambiental moderada	Representa ambientes em estado de transição, com coexistência entre elementos naturais e pressões antrópicas perceptíveis, como uso turístico sazonal, resíduos pontuais, fragmentação da vegetação e alterações morfológicas localizadas. Os processos ecológicos ainda ocorrem, porém com redução de resiliência
0,67 - 1	Alta pressão ambiental	Caracteriza áreas sob intensa degradação ambiental, com forte urbanização, ocupação irregular da zona costeira, supressão de vegetação nativa, elevada carga de resíduos sólidos e alterações estruturais significativas. Os serviços ecossistêmicos encontram-se comprometidos, com baixa capacidade de recuperação natural.

Fonte: os autores (2025).

Resultados e Discussão

Eixo Biodiversidade

A avaliação do eixo Biodiversidade no ecossistema manguezal da APA de Guadalupe indica um ambiente predominantemente funcional, com vegetação estruturalmente íntegra, cobertura contínua, elevada densidade de pneumatóforos e evidências de regeneração natural, o que demonstra a conservação dos principais processos ecológicos (figura 3). Contudo, foram registradas interferências antrópicas pontuais, como resíduos sólidos esparsos e estruturas rústicas sobre o substrato, além de sinais localizados de clareiras e erosão. Esses fatores caracterizam um nível de estresse ambiental perceptível, ainda compatível com a resiliência do ecossistema, mas suficiente para enquadrá-lo na classe de pressão moderada-alta ($B = 2$), conforme a matriz de classificação elaborada neste artigo para o IPAC.

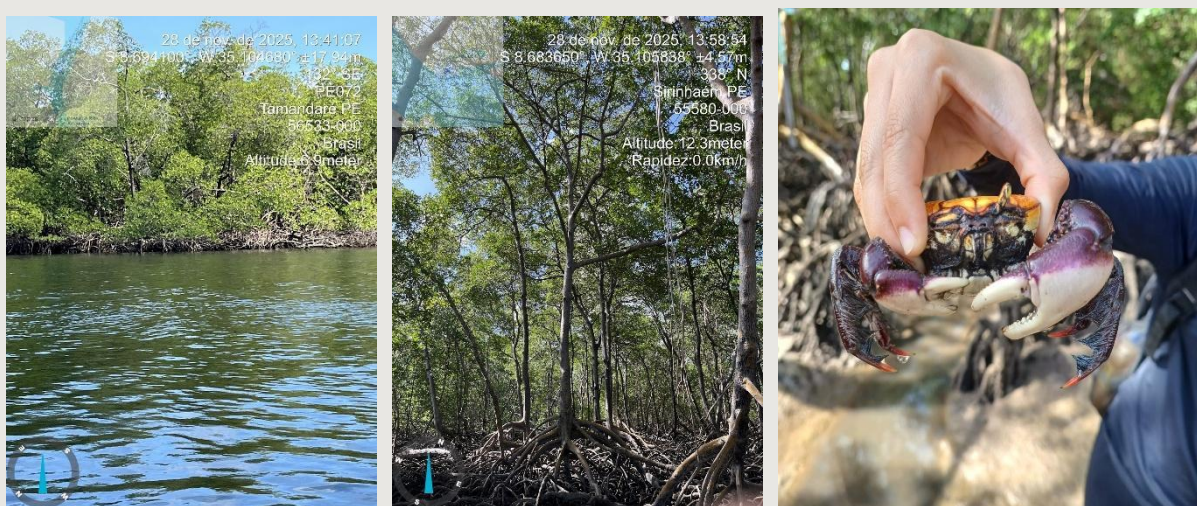


Figura 3 – Vegetação de mangue da APA de Guadalupe, Sirinhaém (PE)

Fonte: os autores (2025).

Na área de restinga da Praia de Tamandaré, a análise da biodiversidade evidencia um cenário de elevada pressão antrópica, marcado pela descontinuidade da cobertura vegetal, simplificação estrutural da vegetação, presença de solo exposto e forte proximidade com infraestruturas urbanas e turísticas. Apesar da ocorrência pontual de vegetação herbácea e arbustiva com sinais de regeneração, floração e presença de fauna silvestre e marinha, como siri, macroalgas marinhas e fauna associada ao ambiente praiar, além de remanescentes de vegetação herbácea adaptada às condições adversas (figura 4).

Esses elementos se mostram insuficientes para compensar os impactos associados à ocupação do solo, supressão da vegetação nativa e uso intensivo da faixa costeira. Assim, a restinga foi classificada como ambiente sob moderada-alta pressão ambiental ($B = 2$), refletindo perda

significativa de funcionalidade ecológica e elevada vulnerabilidade à continuidade dos processos de degradação.

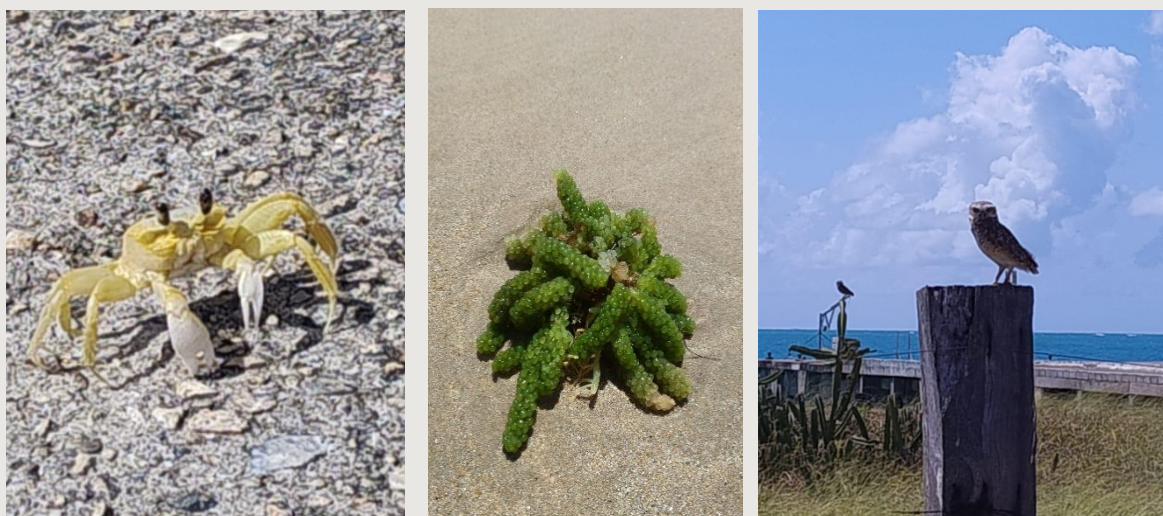


Figura 4 – Biodiversidade encontrada na faixa de praia de Tamandaré (PE).

Fonte: os autores (2025).

Realizando o cálculo médio por eixo, no caso da biodiversidade, temos:

$$\overline{B} = \frac{B_1 + B_2}{n}, \overline{B} = \frac{2+2}{2} = 2.$$

O resultado normalizado pela fórmula:

$$B^* = \frac{2}{3} = 0,66,$$

indicando moderada pressão ambiental costeira, inferindo que a resiliência das espécies encontradas é um indicativo de resistência à degradação ambiental na faixa costeira e na vegetação de restinga.

Eixo Resíduos Sólidos

No ecossistema manguezal avaliado, o eixo Resíduos Sólidos evidenciou moderada-alta pressão ambiental ($R = 2$), caracterizada pela presença recorrente e diversificada de resíduos antrópicos, sobretudo plásticos, metais e embalagens descartáveis, distribuídos de forma contínua sobre o sedimento e retidos entre pneumatóforos e troncos das árvores de mangue (figura 5). Esse padrão de acúmulo está diretamente associado à dinâmica de marés e ao aporte flúvio-marinho, potencializado pelo descarte inadequado oriundo das atividades humanas no entorno. A interação direta do lixo com a estrutura radicular compromete a oxigenação do sedimento, afeta a fauna local e aumenta o risco de ingestão e aprisionamento de organismos, configurando impactos ecológicos diretos e indiretos que justificam a classificação do manguezal em nível moderado a elevado de pressão ambiental.



Figura 5 - Evidências de resíduos sólidos no ecossistema manguezal da APA Guadalupe - Sirinhaém (PE).

Fonte: os autores (2025).

Na área de restinga, considerando de forma integrada os trechos analisados, observou-se também alta pressão ambiental ($R = 3$) relacionada aos resíduos sólidos, marcada pela elevada frequência, diversidade e concentração espacial de lixo, principalmente materiais plásticos descartáveis e resíduos orgânicos (figura 6). Os resíduos encontram-se distribuídos tanto sobre o solo arenoso quanto entre a vegetação herbácea e arbustiva, refletindo a intensa utilização turística da faixa costeira, a proximidade com estruturas urbanas e a fragilidade no manejo e fiscalização ambiental. Esse cenário compromete diretamente a integridade da vegetação de restinga, favorece processos erosivos, degrada habitats e reduz a resiliência do ecossistema, evidenciando um quadro de pressão ambiental elevada e persistente associado ao uso intensivo da zona costeira.

Realizando o cálculo médio por eixo, no caso da biodiversidade, temos:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{n}, \bar{B} = \frac{2+3}{2} = 2,5.$$

O resultado normalizado pela fórmula:

$$R^* = \frac{2,5}{3} = 0,83,$$

indicando alta pressão ambiental costeira, inferindo que a resiliência das espécies encontradas é um indicativo de resistência à degradação ambiental na faixa costeira e na vegetação de restinga.



Figura 6 – Resíduos sólidos espalhados pela vegetação de restinga na praia de Tamandaré (PE).

Fonte: os autores (2025).

Eixo Modificação Costeira

No que se refere ao eixo Modificação Costeira, o ecossistema manguezal analisado na APA de Guadalupe apresenta-se, de forma geral, em condições satisfatórias de conservação, com evidências de funcionalidade ecológica, expressas pela presença de mudas das três espécies típicas de mangue e de fauna associada, como diferentes espécies de caranguejos. Entretanto, as observações de campo revelaram interferências antrópicas pontuais, sobretudo a quebra de galhos decorrente da abertura informal de acessos e do uso do manguezal como área de passagem, associadas a interesses de ampliação de estruturas comerciais adjacentes (figura 7).

Adicionalmente, a ocorrência localizada de resíduos sólidos, incluindo materiais plásticos e objetos de maior porte, indica pressões diretas sobre o ambiente, ainda que restritas espacialmente. Diante desse conjunto de fatores, a modificação costeira no manguezal foi classificada como de baixa a moderada pressão ($M = 1$), refletindo um ecossistema ainda saudável, porém vulnerável a processos de degradação mais intensos caso as intervenções antrópicas se intensifiquem.

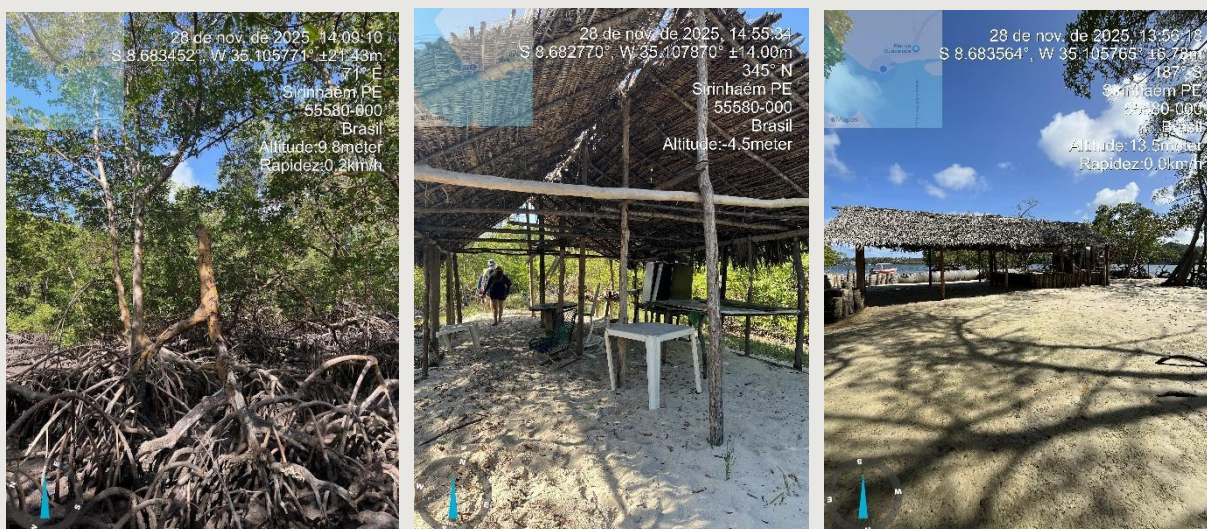


Figura 7 – Modificação costeira do ecossistema Manguezal na APA de Guadalupe, Sirinhaém (PE).
Fonte: os autores (2025).

A restinga da praia de Tamandaré evidencia um quadro de intensa modificação costeira, resultante da ocupação urbana e turística extensiva e contínua ao longo da faixa litorânea. A implantação de edificações residenciais, empreendimentos turísticos, barracas comerciais e outras infraestruturas fixas ocorre, em muitos trechos, em áreas originalmente ocupadas por vegetação de restinga, comprometendo a dinâmica natural desse ecossistema, caracterizada por processos de erosão, sedimentação e mobilidade do nível da água.

A supressão da cobertura vegetal nativa, a substituição do substrato natural por superfícies artificiais e a elevada pressão decorrente de atividades turísticas, como parques aquáticos, esportes náuticos e serviços gastronômicos que intensificam a degradação ambiental (figura 8). Soma-se a esse cenário a presença generalizada de resíduos plásticos, fortemente associados às atividades comerciais e ao turismo de massa. Esse conjunto de intervenções configura forte artificialização do ambiente costeiro, justificando a classificação da restinga como área de alta pressão ambiental no eixo Modificação Costeira ($R = 3$), com elevado risco de perda funcional progressiva e comprometimento dos serviços ecossistêmicos.

Ao realizar o cálculo médio por eixo, neste caso o da modificação costeira, temos:

$$\overline{M} = \frac{M_1 + M_2}{n}, \overline{M} = \frac{1+3}{2} = 2.$$

O resultado normalizado pela fórmula:

$$M^* = \frac{2}{3} = 0,66.$$

Ou seja, o índice IPAC no eixo Modificação Costeira obteve um resultado de 0,66; podendo indicar moderada pressão ambiental costeira, inferindo que as atividades antrópicas e as

modificações nos ecossistemas manguezal e restinga sofrem variados tipos de degradação, porém encontra um meio resiliente de resistir às modificações do ambiente.



Figura 8 – Expansão urbana e imobiliária na linha da costa das praias de Carneiros e Tamandaré (PE)

Fonte: os autores (2025).

Eixo Uso e Ocupação do Solo

No trecho do manguezal associado ao Bar do Mangue (figura 9), observa-se um padrão de uso e ocupação do solo marcado pela intensificação do turismo de base local, com destaque para atividades conduzidas por barqueiros da própria comunidade, configurando uma reorganização das práticas produtivas tradicionais. As estruturas existentes são majoritariamente temporárias, construídas em madeira e palha, sem edificações em alvenaria ou obras permanentes, o que reduz a rigidez da intervenção antrópica sobre o ecossistema.

Embora haja aumento da circulação de pessoas, geração de resíduos e maior interação humana com o ambiente de mangue, as alterações identificadas são consideradas de caráter reversível, mantendo relativa compatibilidade com a dinâmica natural do ecossistema. Diante desse contexto, o uso e ocupação do solo foram classificados como de pressão moderada ($U = 2$), refletindo um equilíbrio instável entre conservação ambiental e uso turístico.

Na Praia dos Carneiros (figura 10), a análise do uso e ocupação do solo evidencia a forte presença de comércio informal e infraestrutura turística instalada em proximidade imediata à faixa litorânea, incluindo barracas, vendedores ambulantes, pousadas, hotéis e restaurantes. O uso turístico ocorre de forma contínua ao longo do ano, sustentado por elevado fluxo de visitantes e intensa atividade náutica, com grande número de embarcações cadastradas para fins turísticos. Esse cenário impõe pressões significativas sobre o meio físico, sobretudo pelo risco potencial de

contaminação do solo, das águas superficiais e do lençol freático, associado à drenagem e ao manejo inadequado de efluentes. Ainda assim, apesar da intensidade do uso, a ocupação apresenta certa organização espacial e não configura, neste ponto, um quadro de completa desordem territorial, justificando a classificação de pressão moderada ($U = 2$).



Figura 9 – Bar do Mangue no manguezal da APA de Guadalupe, Sirinhaém (PE).

Fonte: os autores (2025).



Figura 10 – Especulação de uso e ocupação do solo na faixa de praia da Praia dos Carneiros, Tamandaré (PE).

Fonte: os autores (2025).

Na Praia de Tamandaré (figura 11), o uso e ocupação do solo atingem um nível mais crítico, caracterizado por ocupação intensa e desordenada da faixa costeira. Observa-se ampla disseminação de comércio informal, com barracas que avançam sobre a areia e, em alguns casos, sobre o próprio espelho d'água, além da degradação expressiva da vegetação de restinga em função de edificações implantadas excessivamente próximas à linha de costa.

Soma-se a esse quadro um processo acelerado de especulação imobiliária, evidenciado pela presença de grandes empreendimentos, obras constantes e expansão da hotelaria de alto padrão, configurando forte adensamento urbano. Apesar de a área estar inserida em unidades de

conservação, como a APA de Guadalupe e a APA Costa dos Corais, a fragilidade da fiscalização compromete o controle efetivo da ocupação territorial. Nesse contexto, o uso e ocupação do solo foram classificados como de alta pressão ambiental ($U = 3$), refletindo a sobreposição de interesses econômicos sobre a capacidade de suporte do ambiente costeiro.



Figura 11 – Uso e ocupação do solo e especulação imobiliária na faixa de praia da Praia de Tamandaré (PE).

Fonte: os autores (2025).

O cálculo do IPAC para o eixo uso e ocupação do solo dar-se-á pela fórmula:

$$\bar{U} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{n}, \bar{U} = \frac{2+2+3}{3} = 2,33.$$

Em seguida, aplica-se a normalização do eixo para a escala 0–1, dividindo-se a média pelo valor máximo da matriz (3), conforme $U^* = \frac{2,33}{3} = 0,77$ indicando um comportamento agregado do uso e ocupação do solo com predominância de pressão elevada, coerente com a intensificação turística e o adensamento/ocupação mais críticos observados sobretudo em Tamandaré.

Cálculo final do IPAC para toda área estudada

Aplicando os valores normalizados por eixo fornecidos ($B^* = 0,66$; $R^* = 0,83$; $M^* = 0,66$; $U^* = 0,77$) na expressão de síntese do índice, tem-se:

$$IPAC = \frac{B+R+M+U}{12} = IPAC = \frac{0,66 + 0,83 + 0,66 + 0,77}{12} = 0,24.$$

Portanto, o IPAC final da área de estudo é 0,24, o que enquadra o recorte analisado na classe de baixa pressão ambiental costeira (0–0,33), conforme a matriz de interpretação e intervalos adotados no artigo. Esse resultado expressa, no plano integrado, a predominância de condições compatíveis com maior integridade ecológica relativa, ainda que coexistam pressões pontuais relevantes, sobretudo associadas à presença recorrente de resíduos e à intensificação de usos antrópicos em setores específicos do litoral avaliado.

No ecossistema manguezal, a síntese pelo IPAC indica um quadro global de baixa pressão, coerente com a manutenção de atributos funcionais observáveis (estrutura vegetal, regeneração e sinais de fauna), apesar de pressões localizadas vinculadas à deposição de resíduos e a intervenções físicas de pequena escala. Ainda que o valor elevado de R^* (0,83) aponte que os resíduos sólidos constituem o principal vetor de pressão no conjunto da área, a leitura integrada do índice (0,24) sugere que, no recorte amostral, tais impactos não se sobrepõem completamente à capacidade de conservação relativa do sistema estuarino-manguezal, permanecendo como fatores críticos a serem priorizados em ações de controle, fiscalização e manejo preventivo.

Para a área de restinga, embora o IPAC final agregado também a posicione em baixa pressão no resultado global (0,24), a interpretação deve ser realizada à luz do padrão espacial descrito nos eixos: a restinga e o ambiente praial adjacente concentram as pressões mais intensas ligadas à ocupação turística, à expansão urbana e às modificações costeiras, refletidas em valores elevados de U^* (0,77) e em M^* (0,66). Assim, o índice final sintetiza a média integrada do conjunto avaliado, mas não elimina a evidência de setores de alta vulnerabilidade na restinga, especialmente onde a ocupação se aproxima da linha de costa, há supressão/fragmentação da cobertura vegetal e ocorre acúmulo recorrente de resíduos. Em termos de gestão territorial, esse resultado reforça a necessidade de tratar a restinga como zona prioritária para ordenamento do uso público, qualificação da infraestrutura de limpeza e contenção de novas intervenções na faixa costeira, preservando sua função ecológica e de proteção costeira.

Considerações finais

Em síntese, a análise dos ecossistemas costeiros das praias de Carneiros e Tamandaré evidenciou a ocorrência de impactos ambientais de intensidade variável, associados a diferentes formas e graus de intervenção antrópica. Em todos os ambientes avaliados foi possível identificar algum nível de pressão humana, cuja magnitude se mostrou dependente tanto do tipo de ecossistema quanto do indicador analisado.

Os resultados apontaram, de modo geral, pressões baixas a moderadas nos ambientes de manguezal, onde ainda se observa a manutenção parcial da estrutura e da funcionalidade ecológica. Em contraste, os ambientes praias, especialmente a praia de Tamandaré, apresentaram elevada pressão antrópica, relacionada sobretudo à intensificação do turismo, que ocupa extensas porções da faixa de praia e do mar adjacente, promovendo alterações significativas na dinâmica natural desses sistemas.

As atividades e serviços voltados ao turismo exercem elevada demanda sobre os recursos naturais, resultando em uso extensivo e, em muitos trechos, predatório dos ecossistemas costeiros.

A vegetação de restinga já se encontra parcialmente suprimida em função da expansão de empreendimentos turísticos e da ocupação urbana próxima à linha de costa, tendência que indica a continuidade do processo de redução desse ecossistema no médio e longo prazo. Essa dinâmica se reflete de forma consistente nos eixos de biodiversidade e de resíduos sólidos, uma vez que a simplificação estrutural da vegetação e o acúmulo recorrente de resíduos antrópicos foram observados tanto nas áreas de praia quanto, de forma pontual, nos ambientes de manguezal, comprometendo habitats e aumentando a vulnerabilidade ambiental local.

A aplicação do Índice de Pressão Ambiental Costeira (IPAC), fundamentado na abordagem Pressão–Estado–Impacto–Resposta (PEIR), permitiu a coleta e a sistematização orientada dos dados durante o trabalho de campo, possibilitando a integração de múltiplos vetores de pressão em um indicador sintético. Ainda que o método envolva, inevitavelmente, certo grau de subjetividade na atribuição das pontuações, o uso de uma matriz de classificação padronizada e de critérios previamente definidos confere maior consistência e transparência aos resultados, tornando o IPAC uma ferramenta útil para diagnósticos ambientais em áreas costeiras.

A análise do valor final do IPAC (0,24) indica que, de forma integrada, a área de estudo se enquadra na classe de baixa pressão ambiental costeira. Esse resultado reflete a média dos diferentes ambientes avaliados e aponta para a predominância de condições relativamente conservadas, especialmente nos manguezais, que atenuam os efeitos das pressões mais intensas observadas nas áreas de restinga e praias. Contudo, o índice também evidencia a presença de setores críticos, nos quais a intensificação do uso turístico, a ocupação desordenada do solo e o acúmulo de resíduos sólidos tendem a comprometer a resiliência dos ecossistemas.

Nesse sentido, o acompanhamento contínuo da dinâmica territorial e ambiental, aliado à incorporação de instrumentos de planejamento municipal e ao fortalecimento da fiscalização no âmbito da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe, mostra-se fundamental para aprofundar a compreensão das interações sociedade–natureza e subsidiar estratégias mais eficazes de gestão e conservação costeira.

Referências

ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 3, p. 331-349, 2002. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/present-state-and-future-of-the-worlds-mangrove-forests/0E3D6B0DF6EE2E9DBD48582964AD492A>. Acesso em: 15 dez. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). *Síntese dos estudos socioambientais para criação da Reserva Extrativista Marinha do Rio Formoso*. Brasília: ICMBio, 2017.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH). *Área de Proteção Ambiental Estuarina do Rio Formoso: plano de manejo*. Recife: CPRH, 2012.

CORDEIRO, C. A. M. M.; COSTA, T. M. Evaluation of solid residues removed from a mangrove swamp in the São Vicente Estuary, SP, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, n. 10, p. 1762-1767, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X10002535>. Acesso em: 18 dez. 2025.

COUTINHO, R.; GUIMARÃES, M. A. *Recifes costeiros do Nordeste brasileiro: estrutura, conservação e usos*. Recife: EDUFPE, 2006.

DUKE, N. C. et al. Large-scale dieback of mangroves in Australia's Gulf of Carpentaria: a severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event. *Marine and Freshwater Research*, v. 68, p. 1816-1829, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/MF16322>. Acesso em: 2 jan. 2026.

JAYAPALA, H. P. S. et al. Ecological ramifications of marine debris in mangrove ecosystems: estimation of substrate coverage and physical effects of marine debris on mangrove ecosystem in Negombo Lagoon, Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, v. 201, art. 116184, 2024. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116184.

MANDIĆ, A.; MRNJAVAC, Ž.; KORDIĆ, L. Tourism infrastructure, recreational facilities and tourism development. *Tourism and Hospitality Management*, v. 24, n. 1, p. 41-62, 2018.

MOURA, R. L. et al. Brazilian reefs as priority areas for biodiversity conservation in the Atlantic Ocean. *Diversity and Distributions*, v. 19, n. 2, p. 198-213, 2013.

PERNAMBUCO. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. *Diagnóstico socioambiental da zona costeira sul de Pernambuco*. Recife: SEMAS, 2015.

PONMANI, M. et al. Vulnerability of mangrove ecosystems to anthropogenic marine litter along the southeast coast of India. *Science of The Total Environment*, v. 956, art. 177224, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724073819>. Acesso em: 5 jan. 2026.

PRIMAVERA, J. H. Mangroves, fishponds, and the quest for sustainability. *Science*, v. 310, n. 5745, p. 57-59, 2005. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1115179>. Acesso em: 10 jan. 2026.

RAMOS-QUINTANA, F. et al. Modeling the effects of interactions between environmental variables on the state of an environmental issue: the case of the Morelos State in Mexico. *Journal of Environmental Protection*, v. 6, n. 3, 2015. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1430516>. Acesso em: 10 jan. 2026.

RODRIGUES, F. et al. Indicadores ambientais: instrumentos de gestão ambiental. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 15, n. 12, p. 15234-15256, 2023. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/2379>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SELVA, V. S. Litoral da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe: de ambiente natural a espaço do turismo. *Nature and Conservation*, v. 5, n. 1, p. 8-16, 2012. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/nature/article/view/ESS1983-8344.2012.001.0001>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SILVA, A. C. S.; PASSAVANTE, J. Z. O. Caracterização hidrológica e trófica de estuários do litoral sul de Pernambuco. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 38, n. 2, p. 165-182, 2010.

SOUZA, M. F. L. Dinâmica de nutrientes e produtividade em estuários tropicais brasileiros. *Revista Brasileira de Oceanografia*, São Paulo, v. 53, n. 1-2, p. 1-12, 2005.

SULAIMAN, S. N.; CARBONE, A. S.; COUTINHO, S. M. V. *Educando entre águas: o convívio entre vida natural e humana na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe*. Recife: CPRH, 2018. 48 p. Disponível em: https://www.institutosiades.org.br/pdf/Educando_Entre-Aguas_APA_Guadalupe_Digital.pdf. Acesso em: 10 jan. 2026.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VASCONCELOS, R. P. et al. Fish assemblages in tropical estuaries: the role of mangroves and tidal dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 89, n. 3, p. 249-257, 2010.