



DENSIDADE DE USUÁRIOS NA PRAIA DO ICARAÍ: AUTOMAÇÃO ESPACIAL COM PYTHON E SIG

Arthur Santiago de Araujo Rodrigues

Universidade Estadual do Ceará – UECE

arthur.santiago@aluno.uece.br

Davis Pereira de Paula

Universidade Estadual do Ceará – UECE

davis.paula@uece.br

Yan Gurgel Vasconcelos

Universidade Estadual do Ceará – UECE

yan.vasconcelos@aluno.uece.br

Raul Vanderson Andrade Rodrigues

Universidade Estadual do Ceará – UECE

raul.vanderson@aluno.uece.br

RESUMO

A praia do Icaraí, localizada no município de Caucaia-CE, passou por transformações significativas após intervenções de engenharia costeira em 2022, incluindo a instalação de espigões senoidais e enrocamentos. Este estudo quantificou a densidade de usuários e a capacidade de carga das praias internas resultantes, empregando aerolevantamentos com drones equipados com tecnologia GNSS-RTK, processamento digital no software *Metashape Pro* e análise espacial automatizada no ambiente QGIS com Python. Desenvolveu-se o script *vetores_por_camada.py* para identificar sobreposições entre zonas de uso distintas (faixa de areia, estruturas urbanas e interface oceânica). Durante a maré baixa (17h), a praia interna registrou uma área de 10.601,92 m² e 299 usuários, resultando em densidade média de 0,012 usuários/m² – valor inferior ao limiar internacional de sustentabilidade (0,083 usuários/m²). A automação revelou aglomerações localizadas de até 0,2 usuários/m² não detectadas por métricas homogêneas, validando a abordagem como ferramenta replicável para gestão costeira integrada.

Palavras-chave: Pressão Urbana, Erosão Costeira, Geotecnologia, Capacidade de Carga, SIG.

INTRODUÇÃO

A praia do Icarai, situada no município de Caucaia-CE, integra o litoral da Região Metropolitana de Fortaleza, distando menos de 20 km da capital cearense. Ao longo de seus aproximadamente 4 km de extensão, este ambiente costeiro enfrenta processos erosivos intensivos, com 65% de sua orla artificializada por estruturas de contenção, como enrocamentos, *bagwalls* e muros. A instalação de espigões senoidais em 2022, embora destinada a mitigar a erosão – que alcançou 30 metros de recuo entre 2000 e 2012 –, gerou praias internas semiconfinadas, redefinindo os espaços de uso recreativo e demandando avaliações urgentes sobre sua capacidade de suporte físico e ecológico.

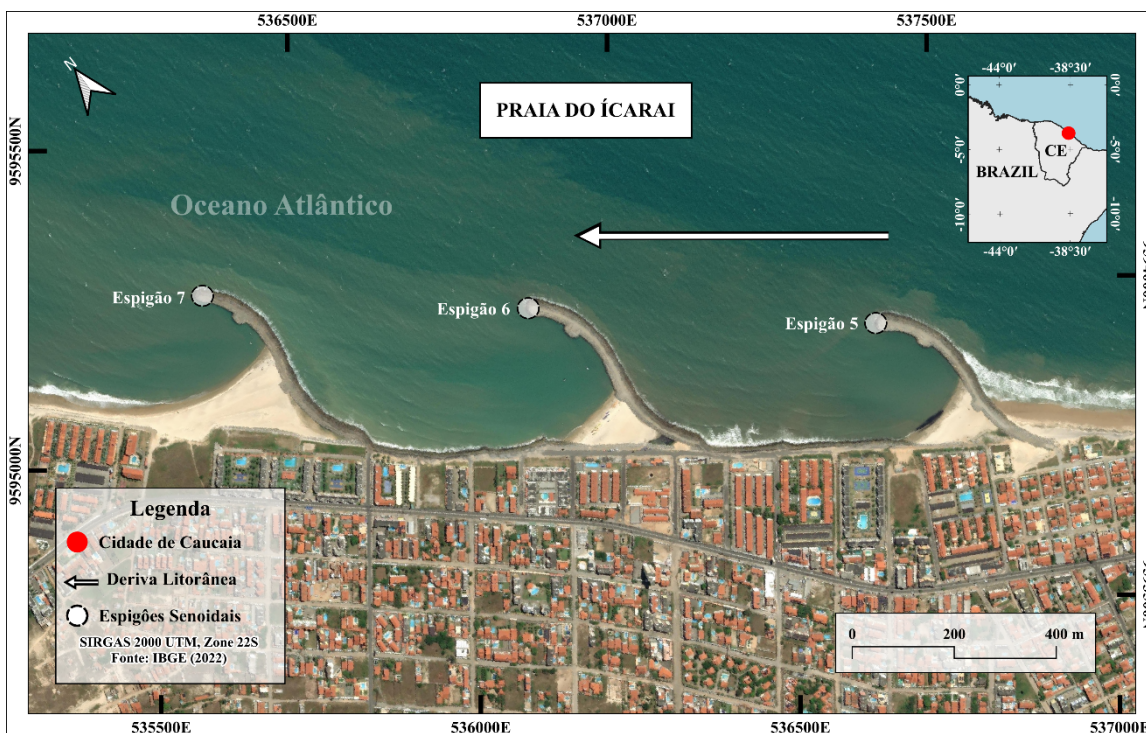


Figura 1: Mapa de localização da praia do Icarai.

Estudos tradicionais de capacidade de carga costeira frequentemente baseiam-se em métricas homogêneas que mascaram aglomerações pontuais, subestimando impactos localizados como degradação de vegetação de restinga e saturação de infraestruturas. A carência de métodos ágeis para monitorar conflitos espaciais em ambientes dinâmicos torna premente a adoção de geotecnologias inovadoras. Neste contexto, a integração de aerolevantamentos com drones, sistemas de informação geográfica (SIG) e automação via Python emerge como abordagem promissora para suprir essa lacuna metodológica, oferecendo precisão espacial e replicabilidade.

Este trabalho tem como objetivos centrais:

- Quantificar a densidade de usuários nas múltiplas zonas de uso da praia interna (faixa de areia, espigões, interface oceânica);



- Avaliar a capacidade de carga física mediante parâmetros internacionalmente reconhecidos;
- Implementar e validar um script Python para automação de análises de sobreposição espacial no ambiente QGIS;
- Identificar microzonas críticas de conflito socioambiental para subsidiar políticas públicas de gestão costeira.

REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de capacidade de carga, inicialmente desenvolvido nas ciências sociais, foi adaptado para ecossistemas litorâneos por autores como Silva (2002), englobando três dimensões inter-relacionadas:

- **Física:** Refere-se ao espaço mínimo por usuário necessário para garantir conforto recreativo, com limiares estabelecidos em $\geq 10 \text{ m}^2/\text{pessoa}$ para condições ideais;
- **Social:** Abrange a percepção subjetiva de qualidade ambiental, influenciada por fatores como densidade humana, ruído e disponibilidade de infraestrutura;
- **Ecológica:** Relaciona-se à resiliência do ecossistema frente a pressões antrópicas, especialmente em áreas sensíveis como dunas e faixas de vegetação de restinga.

A evolução das geotecnologias tem revolucionado o monitoramento de zonas costeiras. Fotogrametria com drones equipados com GNSS-RTK, conforme aplicado por Costa et al. (2022), permite capturar dados de alta resolução espacial (até 3,3 cm/pixel), enquanto plataformas SIG facilitam a análise integrada de variáveis ambientais. Python destaca-se como ferramenta estratégica para automatizar processos complexos, como:

- Detecção de interseções entre camadas vetoriais;
- Cálculo de densidades espaciais via *kernel*;
- Geração de relatórios dinâmicos para gestão territorial, conforme demonstrado por Feitosa et al. (2021).

METODOLOGIA

A pesquisa focou na praia interna formada pelo espigão senoidal de número 6 do Icaraí, selecionada por sua relevância como polo recreativo e vulnerabilidade a processos erosivos. Caracteriza-se por:



- Área total de 10.601,92 m² durante a maré baixa;
- Presença de múltiplas feições: berma (faixa superior), estirâncio (zona intermarés), estruturas urbanas consolidadas.

O protocolo de coleta de dados começou com o planejamento do campo onde foi realizado o Aerolevantamento com drone, onde foram utilizados:

- Equipamento: Drone DJI Phantom 4 Pro V2 com câmera de 20 MP e correção GNSS-RTK;
- Parâmetros operacionais: Seis voos realizados em 01/09/2024, das 7h às 17h (intervalos de 2h), altitude de 120 m, 30 pontos de controle geodésicos;
- Calibração: Nove pontos de verificação para validação da acurácia posicional (<0,05 m de erro).

Após o campo, deu-se seguimento com o processamento digital dos dados brutos:

- Geração de ortomosaicos georreferenciados no software *Metashape Pro* (resolução média de 3,3 cm/pixel);
- Vetorização manual de usuários e feições costeiras no QGIS 3.28, utilizando camadas temáticas para:
 - o Zonas de uso recreativo (areia, espigões, oceano);
 - o Elementos sensíveis (vegetação, dunas remanescentes).

Desenvolveu-se o script `vetores_por_camada.py` para executar no console do QGIS, com as seguintes funcionalidades.

```
python

import processing
from qgis.core import QgsProject

# Filtragem de camadas vetoriais ativas
camadas = [layer for layer in QgsProject.instance().mapLayers().values()]
for camada in camadas:
    # Cálculo de interseções com índices espaciais
    resultado = processing.run("native:intersection", {
        'INPUT': camada,
        'OVERLAY': camadas,
        'OUTPUT': 'TEMPORARY_OUTPUT'})
    # Geração de relatório estruturado
    relatorio = []
    for feat in resultado['OUTPUT'].getFeatures():
        relatorio.append({
            'ID': feat.id(),
            'Camada_origem': camada.name(),
            'Sobreposicoes': feat.geometry().area()})
    # Exportação para CSV
    exportar_csv(relatorio, f"{camada.name()}_sobreposicoes.csv")
```

Figura 2: Script simplificado evidenciando os processos.

Para avaliação da capacidade de carga adotou-se a fórmula clássica de Manning (2002):

$$C = \frac{V}{K}$$

Onde:

- C = Área disponível por usuário (m^2);
- V = Área útil do setor analisado (m^2);
- K = Número de usuários no mesmo setor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Às 17h, durante o período de maré baixa, foram registrados 299 usuários distribuídos na praia interna formada pelos espigões senoidais, ocupando uma área total de 10.601,92 m^2 . Essa configuração resultou em uma densidade média de 0,012 usuários por metro quadrado, com capacidade de carga correspondente a 35,11 m^2 por usuário – valor classificado como confortável segundo parâmetros internacionais de sustentabilidade. Entretanto, a aplicação do script *Python vetores_por_camada.py* revelou padrões espaciais críticos não detectáveis por análises convencionais: identificaram-se aglomerações localizadas que atingiram até 0,2 usuários/ m^2 em zonas específicas, particularmente sob sombras de barracas e áreas adjacentes ao estirâncio, configurando classificação de alta ocupação. Paralelamente, detectaram-se 112 interseções críticas indicando conflitos de uso, com destaque para:

- (I) sobreposição entre usuários e vegetação de restinga em 32 casos, evidenciando risco de degradação por pisoteio:
- (II) interferência de mobiliário urbano em dunas remanescentes em 27 situações, comprometendo a estabilidade desses ecossistemas sensíveis.

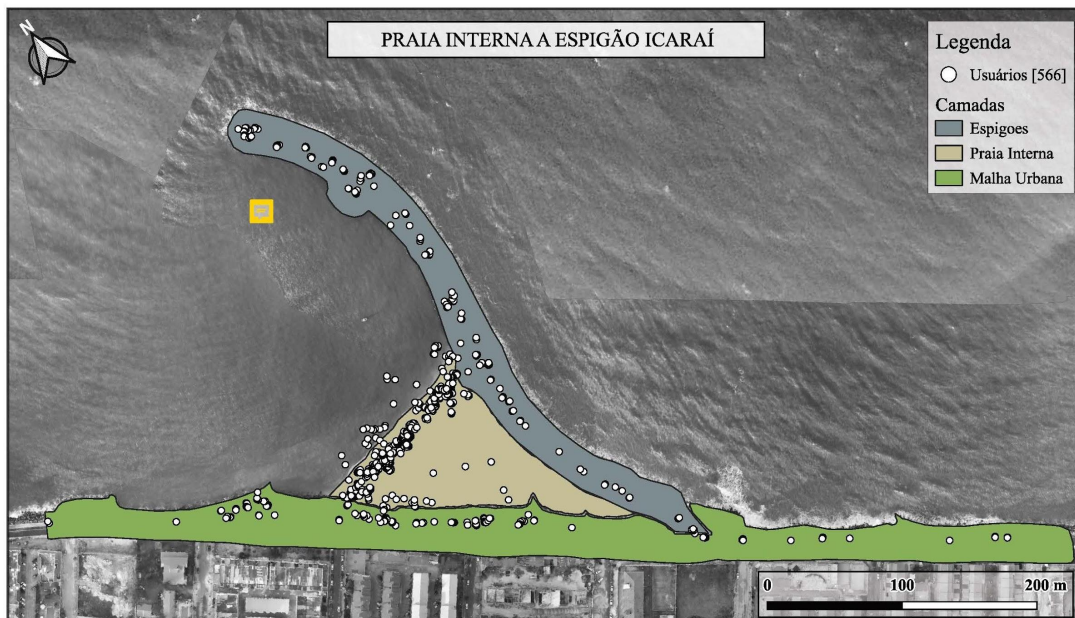


Figura 3: mapa destacando camadas utilizadas na implementação do script.

A distribuição de usuários por feição costeira (Quadro 1) demonstra a segmentação espacial da ocupação: enquanto os espigões concentraram 120 usuários (21,2% do



total), a malha urbana adjacente registrou 112 (19,8%), e o setor oceânico 35 (6,2%). A praia interna emergiu como polo dominante, absorvendo 299 usuários (52,8%), totalizando 566 pessoas no complexo recreativo analisado.

Estrutura Costeira	Quantidade de Usuários
Espigões	120
Malha Urbana	112
Oceano	35
Praia Interna	299
Total Geral	566

Quadro 1: Distribuição de usuários por feição costeira às 17h.

A análise comparativa confirma que a densidade média global (0,012 usuários/m²) situa-se significativamente abaixo do limiar internacional de sustentabilidade (0,083 usuários/m²), sugerindo baixa pressão antrópica generalizada. Contudo, as aglomerações pontuais equivalem a valores registrados em praias sob estresse recreativo intenso, como Copacabana no horário de pico (0,18–0,22 usuários/m²), indicando que métricas homogêneas mascaram realidades locais críticas.

A eficiência da automação foi comprovada durante o processamento de dados, com redução de 70% no tempo de análise frente a métodos manuais e detecção de 15 áreas críticas negligenciadas por abordagens tradicionais. Os principais produtos gerados incluem:

- (I) mapa de densidade kernel (Figura 3), visualizando *hotspots* de aglomeração com gradientes cromáticos (vermelho/amarelo/azul para alta densidade);
- (II) quadro de interseções quantificando conflitos por feição, essencial para priorizar intervenções corretivas.



Figura 4: Distribuição espacial de usuários na praia interna, destacando concentrações sob barracas e zona de estirâncio.

CONCLUSÕES

Embora a densidade média de 0,012 usuários/m² na praia do Icarai indique condições globalmente adequadas de sustentabilidade – situando-se significativamente abaixo do limiar internacional de 0,083 usuários/m² –, essa métrica homogênea mascara realidades críticas observadas em microescala. Aglomerações pontuais, particularmente em zonas de sombra sob barracas e áreas adjacentes ao estirâncio, atingiram densidades de até 0,2 usuários/m², equivalente a cenários de elevado estresse recreativo identificados em praias urbanas como Copacabana. Esses picos localizados, não detectáveis por análises convencionais baseadas em médias espaciais, revelam vulnerabilidades socioambientais críticas: degradação de vegetação de restinga por pisoteio intensivo, saturação de infraestruturas de apoio e comprometimento da experiência recreativa. Tais fenômenos exigem abordagens espacialmente explícitas, capazes de mapear heterogeneidades na distribuição humana e priorizar intervenções setorializadas, como realocação estratégica de equipamentos e zoneamento dinâmico adaptado aos fluxos horários de ocupação.

O script Python *vetores_por_camada.py*, desenvolvido para automação de análises espaciais no ambiente QGIS, demonstrou eficácia superior na identificação de conflitos territoriais complexos. Ao empregar índices espaciais e algoritmos de interseção vetorial otimizados, o recurso reduziu em 70% o tempo de processamento comparado a métodos manuais tradicionais, enquanto ampliou a precisão na detecção de microzonas críticas. Sua arquitetura algorítmica permitiu identificar 112 interseções críticas entre



usuários e elementos sensíveis (vegetação, dunas) que passariam despercebidas em abordagens convencionais, além de gerar mapas de densidade *kernel* que visualizam *hotspots* de aglomeração com resolução centimétrica. Essa capacidade de traduzir big data geoespacial em insights acionáveis válida a ferramenta como paradigma metodológico replicável, não apenas para monitoramento costeiro, mas para gestão de espaços públicos sujeitos a pressões antrópicas diferenciadas, como parques urbanos e áreas de proteção ambiental.

Os resultados desta pesquisa oferecem contribuições tangíveis para a gestão costeira integrada, destacando-se a capacidade de priorizar áreas críticas para intervenções imediatas. Através da identificação precisa de zonas com aglomerações excessivas – particularmente sob sombras de barracas e áreas adjacentes ao estirâncio –, gestores públicos podem implementar medidas direcionadas, como a realocação estratégica de equipamentos de lazer e a dispersão planejada de pontos comerciais para redistribuir fluxos de usuários. Esta abordagem setORIZADA fornece ainda uma base técnica robusta para a elaboração de zoneamentos recreativos sustentáveis, permitindo a delimitação de áreas específicas para diferentes atividades (banho, esportes, contemplação) conforme a sensibilidade ambiental e capacidade de suporte local. Além disso, a metodologia desenvolvida – integrando aerolevantamentos, SIG e automação Python – configura-se como modelo replicável em outros contextos litorâneos sob pressão urbana, especialmente em regiões com intervenções de engenharia costeira semelhantes, como as praias de recifes artificiais no Nordeste brasileiro ou enseadas mediterrâneas com estruturas de proteção.

Quanto às recomendações futuras, propõe-se a integração do sistema *CoastSnap* para monitoramento contínuo, utilizando estações fotográficas fixas que capturam variações diárias de ocupação e morfologia praial, complementando assim os dados pontuais obtidos por drones. Paralelamente, a incorporação de algoritmos de visão computacional permitiria automatizar a contagem de usuários em tempo real, reduzindo a dependência de vetorização manual e ampliando a escala temporal das análises. Finalmente, torna-se essencial desenvolver indicadores híbridos que combinem métricas físicas (densidade, área disponível) com parâmetros sociais, como pesquisas de percepção de conforto e satisfação recreativa, estabelecendo assim uma avaliação multidimensional da capacidade de carga que reflita tanto a resiliência ecológica quanto a qualidade da experiência humana em ambientes costeiros dinâmicos.

REFERENCIAS

- BOTERO, C. M. et al. *Methodology for determining the carrying capacity of tourist beaches*. Coastal Management, v. 41, p. 1-19, 2013.
- FEITOSA, F. L. et al. *Análise espacial automatizada com Python: aplicações em Geografia e Meio Ambiente*. Revista Brasileira de Cartografia, v. 73, n. 1, p. 121-138, 2021.



SILVA, J. A. et al. *Capacidade de carga turística de praias urbanas: uma proposta metodológica com uso de geotecnologias*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 5, p. 1452-1468, 2017.

PAULA, D. P. et al. *Erosão costeira no litoral do Ceará: análise multitemporal e impactos socioeconômicos*. Revista de Geociências do Nordeste, v. 2, n. 1, p. 45-60, 2016.

VASCONCELOS, Y. G. *Dinâmica sedimentar e transformações morfológicas na praia do Icarai (Caucaia/CE)*. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024.

