

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DO MUNICÍPIO DE CAUCAIA, CEARÁ, BRASIL

Geoprocessing applied to mapping of use and land coverage in the areas of permanent preservation of the municipality Caucaia, Ceará, Brazil

Cleyber Nascimento de Medeiros*
Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque**

***Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE / Fortaleza, Ceará**
cleyber.medeiros@ipece.ce.gov.br

****Universidade Federal do Piauí - UFPI / Teresina, Piauí**
lindemberg@ufpi.edu.br

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar as condições de uso e cobertura da terra no município de Caucaia, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, dando ênfase para as Áreas de Preservação Permanente (APP). Os procedimentos teóricos e metodológicos pautaram-se no levantamento bibliográfico e cartográfico do setor espacial em análise, sendo que os produtos geocartográficos foram validados em trabalhos de campo e por meio da concepção do índice estatístico de concordância de kappa. Foram mapeadas 19 classes de uso e cobertura da terra, sendo as que possuíram maior extensão territorial corresponderam a Caatinga aberta / Agropecuária (39,92%), Caatinga fechada (14,28%), Mata de tabuleiro aberta / Agropecuária (10,08%), Mata seca (8,01%) e Área urbanizada (5,48%). A base jurídico-institucional da pesquisa contemplou as APP, APA do Rio Ceará, APA do Lagamar do Cauhípe, Estação Ecológica do Pecém, Parque Botânico do Ceará e Terra Indígena dos Tapebas. Ao combinar as informações do mapa de uso e cobertura da terra com o mapa da base jurídico-institucional, constatou-se que: há degradação de significativas extensões das matas ciliares dos cursos e mananciais d'água; os manguezais e paleodunas estão sendo afetados por desmatamentos indiscriminados e; nas APP é significativo o uso da terra em atividades relacionadas à agricultura. Por fim, cita-se que os resultados apontam o destaque das técnicas de geoprocessamento para este tipo análise.

Palavras-chave: Planejamento territorial. Índice kappa. Degradação ambiental.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the land use and land cover conditions in the municipality of Caucaia, located in the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), state of Ceará, with emphasis on the Permanent Preservation Areas (APP). The theoretical and methodological procedures were based on the bibliographical and cartographic survey of the space sector under analysis, and the geocartographic products were validated in field works and through the design of the statistical index of concordance of kappa. Nineteen classes of land use and land cover were mapped, and the ones with the greatest territorial extension were: Open caatinga / Agriculture (39.92%), Closed caatinga (14.28%), Open forest tabuleiro / Agriculture (10.08%), Dry forest (8.01%) and urbanized area (5.48%). The legal-institutional basis of the research included the APP, APA of the Ceará River, APA of Lagamar do Cauhípe, Ecological Station of Pecém, Park botany of Ceará and Tapajos Indigenous Land. By combining the land use and land cover information with the legal-institutional base map, it was found that: there is significant degradation of the riparian forests of the courses and water sources; The mangroves and paleodunas are being affected by indiscriminate deforestation and; In PPAs the use of land in agriculture-related activities is significant. Finally, it is mentioned that the results indicate the highlight of geoprocessing techniques for this type of analysis.

Keywords: Territorial planning. Kappa index. Ambient degradation.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Santos (2004), a preocupação com a organização do espaço geográfico sempre foi uma premissa humana, estando, conseqüentemente, associada aos processos que se materializam no território. De acordo com Medeiros (2014), a informação espacial é estratégica para responder indagações a respeito do que está acontecendo, do que pode acontecer e do que aconteceu, considerando os devidos recortes espaciais e temporais da pesquisa.

Menciona-se que o mapeamento do uso e cobertura da terra, como ferramenta de planejamento e gestão territorial, têm experimentado significativos avanços nas últimas décadas a partir da integração, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de produtos derivados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

Jensen (2009) define que o sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informações de um objeto sem estar em contato físico com ele, podendo ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra, por meio da captação da radiação eletromagnética refletida e emitida pela superfície, a exemplo dos processos de uso e cobertura da terra.

Neste contexto, esta pesquisa almeja avaliar as condições de uso e cobertura da terra no município de Caucaia, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, com vistas a subsidiar o planejamento territorial. A análise empreendida averiguou, de forma pormenorizada, o uso e cobertura da terra presente nas Áreas de Preservação Permanente (APP) deste município. Frisa-se que as APP são setores espaciais legalmente protegidos, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, bem como facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Vale salientar que a terminologia “uso da terra” está associada às atividades conduzidas pelo homem, retratando como as coberturas são utilizadas, enquanto o termo cobertura da terra diz respeito aos elementos da natureza, o qual avalia os elementos da paisagem ou os aparelhos antrópicos que recobrem a superfície terrestre, considerando as camadas superficiais independentemente se a cobertura é natural ou antropizada (BRASIL, 2013).

Destaca-se que o município em epígrafe tem apresentado um aumento populacional expressivo nos últimos decênios, desencadeando uma gama de problemas ambientais. A população correspondia a 54.754 habitantes em 1970, 94.106 em 1980, 165.099 em 1991, 250.479 no ano 2000 e 325.441 habitantes em 2010, alcançando um crescimento relativo de 29,93% na última década, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Relata-se, ainda, que Caucaia tem uma participação de destaque no panorama social e econômico do Estado, uma vez que detêm o segundo maior contingente populacional e o terceiro maior Produto Interno Bruto (PIB) entre as cidades cearenses, sendo estes indicadores relevantes para medir a importância socioeconômica do município no cenário estadual (CEARÁ, 2016).

Do ponto de vista geoambiental, Caucaia possui terrenos cristalinos Pré-Cambrianos encravados na depressão sertaneja, que bordejam as serras úmidas e secas, tendo contato geológico com a Formação Barreiras. Por sua vez, no litoral apresenta-se a planície flúvio-marinha, campos de dunas móveis e fixas e em menor escala a faixa de praia. As planícies fluviais e lacustres estão inseridas em todos os sistemas ambientais, compondo de forma integrada a rede de drenagem (BRANDÃO et al., 1995; SOUZA, 2000; MEDEIROS, 2014).

Diante das características mencionadas e das particularidades socioambientais presente no município de Caucaia, torna-se de fundamental importância à realização desta pesquisa, uma vez que os cenários degradacionais, pertinente ao elevado crescimento demográfico e econômico, tem se materializado na paisagem de forma expressiva, sobretudo nas APP. Este fato é corroborado pela ausência e/ou ineficiência das ações do poder público com a gestão territorial, no sentido de monitorar as ações antrópicas desenvolvidas nas áreas de preservação permanente.

Neste viés de análise, Nobre (2008) indica que a gestão do uso do território deve ser um instrumento de normatização indispensável para a readequação das atividades humanas, atuando como um disciplinador das intervenções antrópicas na natureza. Portanto, para que as ações do poder público sejam orientadas às necessidades da população e compatíveis com a realidade local, é importante conhecê-las segundo as suas potencialidades e limitações ambientais, sociais e econômicas (MEDEIROS, 2014).

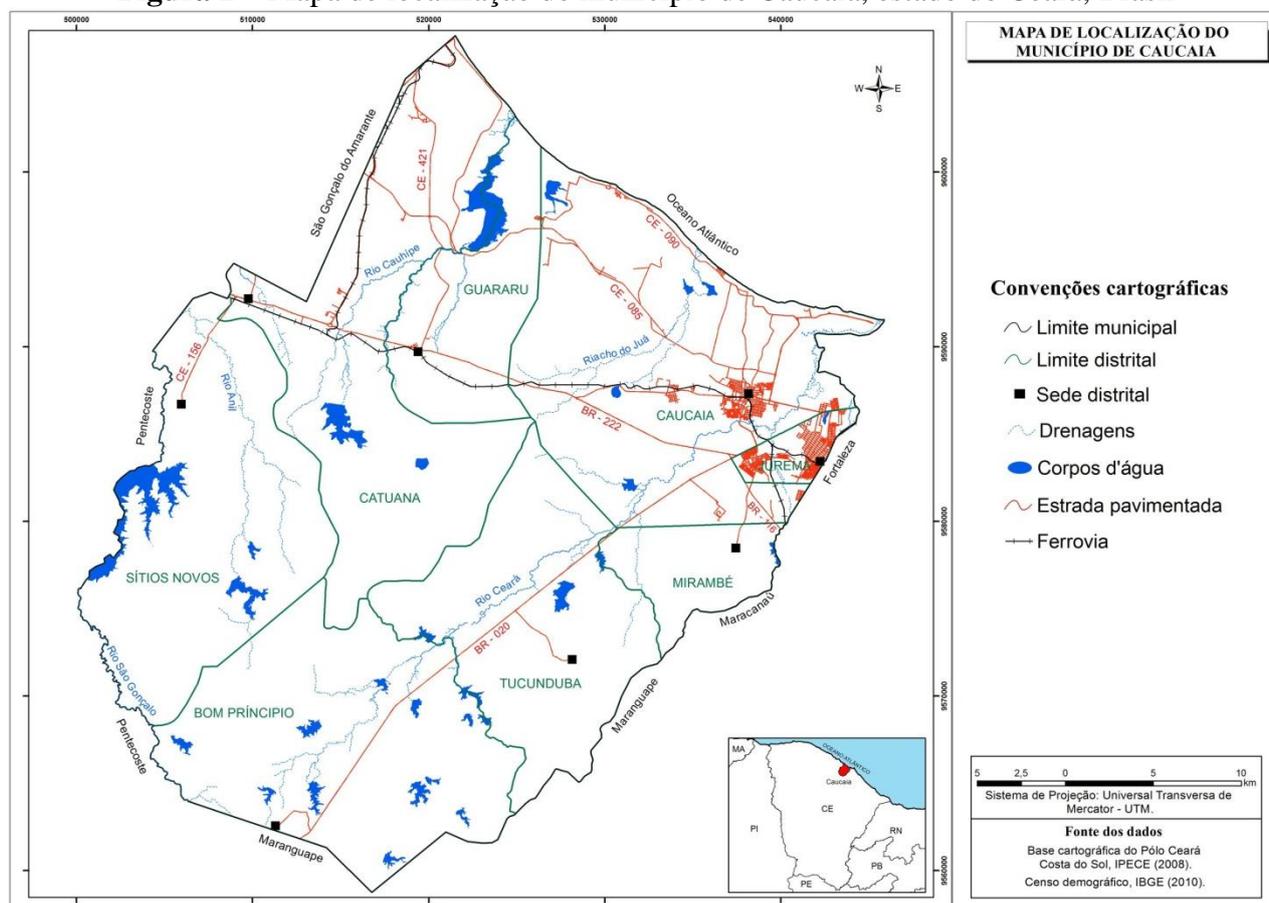
Assim, busca-se neste trabalho gerar, compilar, padronizar e avaliar os mais diversos tipos de dados referentes ao objeto de estudo, por meio de técnicas e ferramentas de geoprocessamento inseridas em ambiente SIG. Visa, ainda, o aprofundamento dos conhecimentos conceituais que dão elementos às ações do planejamento territorial, com base nas características atuais de uso e cobertura da terra, auxiliando a tomada correta de decisões por parte do poder público e da sociedade nas APP de Caucaia.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde ao município de Caucaia (Figura 1), ocupando aproximadamente uma extensão de 1.228,57 Km², conforme dados do IBGE (BRASIL, 2012), o que equivale a 0,83% da superfície do Estado. O município integra a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), limitando-se ao Norte com o Oceano Atlântico e com São Gonçalo do Amarante, a Sul com Pentecoste e Maranguape, a Oeste com São Gonçalo do Amarante, Pentecoste e Maranguape e a Leste com Maranguape, Maracanaú e Fortaleza.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Caucaia, estado do Ceará, Brasil



Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Em relação à compartimentação geoambiental, o município é caracterizado pela presença dos sistemas ambientais da faixa de praia e terraços marinhos, campos de dunas móveis e fixas, planície flúvio-marinha, tabuleiros pré-litorâneos, planície fluvial e lacustre, maciços e cristas residuais, *inselbergs* e a depressão sertaneja (MEDEIROS; SOUZA, 2015).

Sobre a caracterização socioeconômica, verifica-se que a população de Caucaia correspondeu a 362.223 habitantes em 2017, sendo a segunda maior cidade cearense em termos de contingente populacional, atrás apenas da capital, Fortaleza (2.627.482 hab.). De acordo com dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (CEARÁ, 2016), o Produto Interno Bruto (PIB) de Caucaia, em 2015, foi de R\$ 5.673.368, equivalendo a 4,3% do PIB do Ceará no mencionado ano. Por setores da economia, o PIB municipal apresenta as seguintes características: a Agropecuária correspondeu a 1,1% do total em 2015; a Indústria contribuiu com 31,2% e; o setor de Serviços registrou a maior parcela, com 67,7%.

Destaca-se, também, que em Caucaia há uma forte atuação da atividade turística, localizada principalmente na planície litorânea, sendo as mesmas exercidas principalmente na faixa de praia, nos campos dunares e nas lagoas existentes neste sistema ambiental. Vale ressaltar que a atividade da indústria tende a crescer no município a partir da consolidação do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), onde hoje estão abrigadas, ou em processo de implantação, empresas relacionadas ao setor de geração de energia elétrica; aerogeradores e componentes; energia elétrica à base de gás natural; material de construção civil; derivados de petróleo; e produção de laminados de aço.

2.2. Procedimentos metodológicos e operacionais

Os procedimentos metodológicos empregados para o mapeamento do uso e cobertura da terra de Caucaia, dando ênfase à realidade presente nas Áreas de Preservação Permanente (APP), tiveram início com o levantamento bibliográfico e cartográfico do município. O levantamento bibliográfico permitiu identificar e avaliar a melhor metodologia para essa abordagem, considerando as particularidades deste município. Merece destaque as contribuições de: Borrough (1987); Assad e Sano (1998); Novo (1998); Florenzano (2007); Jensen (2009), Lang e Blaschke (2009); Brasil (2013); Medeiros e Souza (2015), entre outros.

Do ponto de vista conceitual, Borrough (1987) destaca que um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Este sistema fornece valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento territorial, que a cada dia tornam-se mais complexos e robustos diante dos avanços tecnológicos, tendo em vista que essa ferramenta proporciona a otimização das informações através do geoprocessamento (LANG; BLASCHKE, 2009).

Nesse sentido, para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra do município de Caucaia, na escala 1:25.000, foi utilizada uma imagem orbital do satélite SPOT-5, datada de julho de 2013 (Figura 2), disponibilizada pelo IPECE.

Esta imagem de satélite possui as características de resolução espacial equivalente a 2,5 metros, após fusão da banda multiespectral (10 metros) com a banda pancromática (2,5 metros), resolução radiométrica de 8 bits, resolução temporal de 3 dias, e 4 bandas espectrais: verde (1), vermelho (2), infravermelho próximo (3) e infravermelho médio (4).

A escolha desta imagem deu-se em virtude de suas características técnicas, com ênfase na resolução espacial, o qual permite um mapeamento detalhado do uso e da cobertura da terra para o município, uma vez que a escala cartográfica adotada evita generalizações.

De acordo com Jensen (2009), a resolução espacial é uma medida da menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de sensoriamento remoto. Para Florenzano (2008), a resolução espacial refere-se a dimensão do menor elemento ou superfície distinguível pelo sensor.

Figura 2 – Recorte da imagem de satélite SPOT-5, na composição colorida RGB213

Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Conforme Brasil (2013), considera-se adequado para representar a mínima área no mapeamento do uso e cobertura da terra um quadrado de 5 mm x 5 mm. Dessa forma, a relação entre a menor área interpretável e a área real do terreno está vinculada à escala utilizada.

Segundo Manzer (1995), para representação cartográfica de um mapeamento na escala 1:25.000 deve-se utilizar uma imagem de satélite com resolução espacial de até 3 metros, ou seja, a resolução espacial da imagem de satélite SPOT-5 é apropriada para a escala de mapeamento que é adotada nesta pesquisa.

Nesta conjuntura, para a delimitação das classes de uso e cobertura da terra, a imagem de satélite SPOT-5 foi avaliada a partir da geração de chaves de interpretação utilizando os seguintes elementos: tonalidade (cor), textura (impressão de rugosidade), tamanho, forma, sombra, altura, localização, padrão (arranjo espacial dos objetos) e contexto (FLORENZANO, 2008).

Dessa forma, a restituição das unidades mapeadas foi realizada pelo método de digitalização direta em tela, por meio de estruturas vetoriais zonais, possibilitando a mensuração das unidades mapeadas a partir da interpretação das feições presentes na imagem de satélite.

Ressalta-se, também, que foram utilizadas informações estatísticas concernentes a produção agropecuária do município, identificando a tipologia referente às culturas temporárias e permanentes, bem como material cartográfico do projeto Polo Ceará Costa do Sol (CEARÁ, 2008), o qual gerou cartas topográficas, na escala 1:20.000, contendo hidrografia, sistema viário, localidades e curvas de nível com equidistância vertical de 5 metros, estando os referidos arquivos em formato *shapefile*.

Para a elaboração do mapa de aspectos legais, usou-se o limite de unidades de conservação e terras indígenas (dado vetorial) existentes no município (CEARÁ, 2016), no formato *shapefile*, empregando-se também técnicas de análise de proximidade (*buffer*) para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente, obedecendo às normativas do novo código florestal (BRASIL, 2012).

Destaca-se que após a etapa laboratorial (fase de gabinete), realizaram-se as incursões de campo para validar o mapeamento gerado, usando um aparelho GPS (*Global Positioning System*). Para cada classe de uso e cobertura da terra foram obtidas coordenadas georreferenciadas, num total de 150 pontos, as quais foram superpostas ao mapeamento de uso e cobertura da terra gerando uma matriz de confusão, subsidiando o cálculo do índice de kappa (Fórmula 1) e de acurácia global (Fórmula 2).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

$$\text{Acurácia Global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (2)$$

Onde:

\hat{K} : valor estimado do índice *Kappa*;

k : número de linhas da matriz de confusão;

x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

x_{i+} : soma total das observações para as linhas;

x_{+i} : soma total das observações para as colunas;

N : número de observações total.

Ressalta-se que os índices estatísticos de acurácia global e de kappa são tradicionalmente usados na validação de mapeamentos temáticos. O objetivo é construir uma matriz de confusão comparando um conjunto de dados de referência (pontos de campo, no caso deste trabalho) com o mapa temático (MARINHO; FASBENDER; KOK, 2012). Recorreu-se, ainda, a classificação proposta por Landis e Koch (1977) (Quadro 1), que estabelece seis níveis de concordância para o índice de kappa.

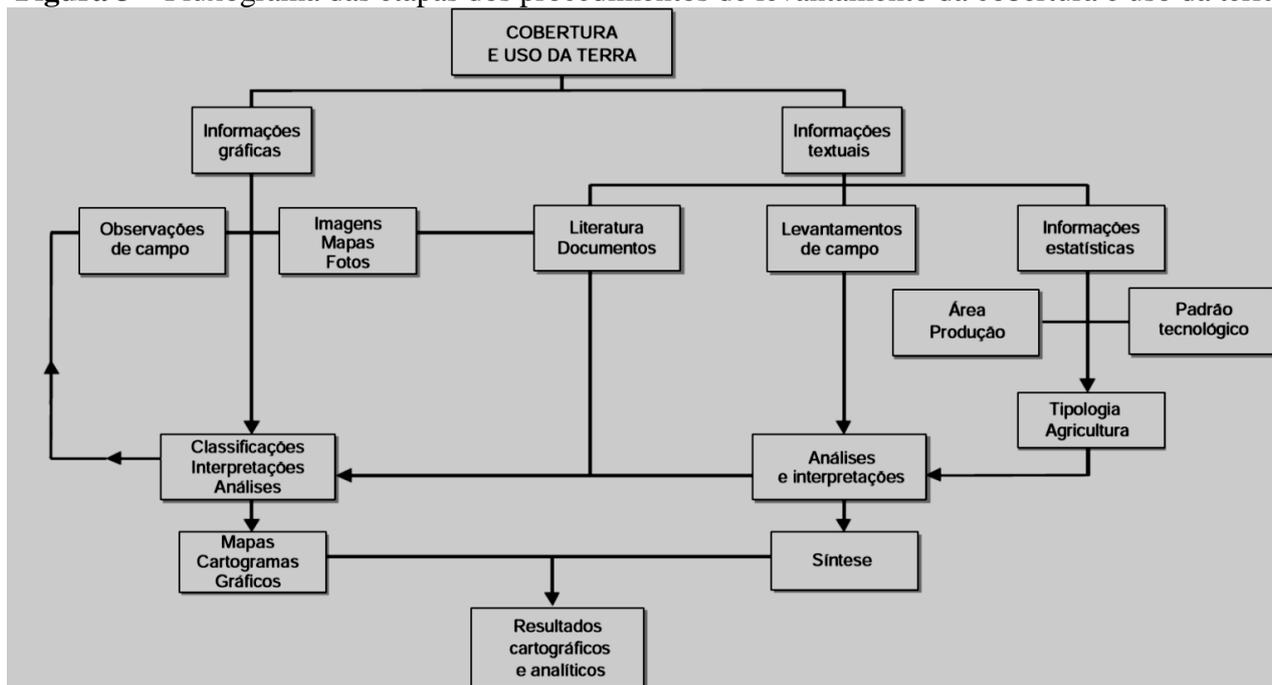
Desse modo, os índices estatísticos utilizados possibilitam validar o mapeamento do uso e cobertura da terra, gerado a partir da interpretação da imagem de satélite SPOT-5, demonstrando o grau de concordância entre as classes mapeadas e a realidade observada em campo, via registro de coordenadas geográficas coletas por GPS.

Quadro 1 – Qualificação do Índice de kappa

Índice Kappa	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Bom
0,61 a 0,80	Muito bom
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977). Organizado pelos autores (2016).

Neste contexto, considerando o exposto, as etapas do processo de mapeamento do uso e cobertura da terra de Caucaia seguiram a proposta metodológica propugnada pelo IBGE, a partir do Manual Técnico de Uso da Terra (BRASIL, 2013), conforme é exibido na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas dos procedimentos de levantamento da cobertura e uso da terra

Fonte: BRASIL (2013). Organizado pelos autores (2016).

A seguir, descrevem-se as classes mapeadas no município de Caucaia, adaptadas do IBGE (BRASIL, 2013), em que a escolha e definição da nomenclatura/terminologia proposta seguem os princípios do referido manual técnico, em associação as diversas pesquisas, nacionais e internacionais, que tratam da sua compatibilização, conforme é retratado no Quadro 2.

Quadro 2 – Classes de uso e cobertura da terra no município de Caucaia

Classe	Descrição
Agropecuária	Atividade que inclui a pecuária e/ou agricultura, com o cultivo de lavouras temporárias e permanentes. A lavoura temporária corresponde à cultura de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano. A permanente refere-se à cultura de ciclo longo que permite colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio a cada ano. Por sua vez, a pecuária relaciona-se à criação do gado (bovino, suíno, caprino, entre outros), aves e abelhas.
Aquicultura	Relaciona-se à atividade de cultivo e criação de peixes, crustáceos, entre outros, em cativeiro.
Área urbanizada	Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as cidades, vilas, povoados, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados.
Aterro sanitário	Corresponde à área ocupada pelo Aterro Sanitário de Caucaia.
Corpos d'água	Consistem na área delimitada de lagos, lagoas e reservatórios.
Dunas fixas	Refere-se aos locais com ocorrência de dunas fixas em Caucaia.
Dunas móveis	Compreende os locais com incidência de campos de dunas móveis no município.
Extração mineral	Atividade que inclui áreas de extração de substâncias minerais, como lavras, minas e lavra garimpeira ou garimpo.
Faixa de praia	Refere-se à faixa litorânea de praia do município.
Indústria	Consiste em ampla variedade de usos da terra, desde indústrias leves até usinas pesadas. As áreas de indústrias leves, eventualmente, podem-se encontrar em contato com áreas urbanas.
Solo exposto	Definido como solo desnudo ou sem cobertura vegetal.

Classe	Descrição
Manguezal	Locais com presença de vegetação do tipo manguezal presente no município.
Mata ciliar	Vegetação encontrada nas planícies fluviais e lacustres, com destaque para a carnaúba.
Mata seca	Ocorre na meia encosta e vertentes de sotavento dos maciços residuais. Tem como característica a queda das folhas nos períodos de estiagem, possuindo espécies arbóreas, intermediárias entre os da mata plúvio-nebular e da caatinga.
Mata plúvio-nebular	Possui a característica de porte arbóreo, em que a maior parte das árvores alcança até 30 metros, sendo que as espécies conservam entre 75% e 100% das folhas durante o ano, verificando-se a existência de remanescentes da Mata Atlântica.
Vegetação de caatinga aberta	Refere-se à vegetação de caatinga aberta com as espécies distanciadas entre si, isto é, com clareiras (espaçadas).
Vegetação de caatinga fechada	Consiste na vegetação de caatinga sem áreas descobertas, ou seja, cobrindo toda a área de ocorrência de maneira ininterrupta (compacta) e sem clareiras.
Vegetação de tabuleiro aberta	Corresponde à vegetação de tabuleiro aberta com as espécies distanciadas entre si, isto é, com clareiras (espaçadas).
Vegetação de tabuleiro fechada	Consiste na vegetação de tabuleiro sem áreas descobertas, ou seja, cobrindo toda a área de ocorrência de maneira ininterrupta (compacta) e sem clareiras.

Fonte: Adaptado de Brasil (2013). Organizado pelos autores (2016).

Por fim, nesta seção, cita-se que os produtos cartográficos foram gerados no programa ArcGis 10.5[®], com licença registrada no IPECE. Destaca-se que o sistema de projeção adotado corresponde ao *Universal Transversa de Mercator* (UTM), tendo como referencial geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), sendo este o Datum oficial adotado atualmente no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Uso e cobertura da terra no município de Caucaia

O levantamento do uso e da cobertura da terra deve indicar a distribuição geográfica da tipologia retratada, localizada por meio de padrões homogêneos na superfície terrestre. Para realização deste levantamento, recorreram-se as etapas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação de produtos de sensoriamento remoto, análise e registro de observações da paisagem.

Vale mencionar que os diversos usos e coberturas da terra são frutos de atividades econômicas que, via de regra, privilegia a antropização em detrimento da conservação ou preservação dos ambientes ali inseridos, principalmente nos dias atuais, quando as atividades da indústria e do turismo são apresentadas, pelo governo, como um dos caminhos indutores ao desenvolvimento socioeconômico.

Atualmente em Caucaia, as atividades turísticas e o aumento das áreas urbanizadas modificam os usos de locais até então consolidados, provocando uma série de impactos ambientais. Podem-se citar, por exemplo, os desmatamentos, o avanço ocupacional sobre campos de dunas, os aterramentos de vales interdunares e as terraplenagens de topos de morro, sendo que estes locais deveriam ser preservados, visando manter o equilíbrio do sistema ambiental da planície litorânea.

É nesse contexto que o mapeamento em pauta foi realizado, considerando as modificações impostas pelas atividades socioeconômicas e a diferenciação das tipologias de uso. Vale mencionar que a diferença entre a cobertura e o uso da terra corresponde ao fato de que a cobertura avalia os elementos da natureza ou de aparelhos antrópicos que estão recobrendo a superfície terrestre, independentemente se a cobertura é natural ou antropizada. O uso da terra configura as formas como esses elementos ou coberturas são tratados, atribuídas às variadas atividades humanas sobre estas, sejam elas industriais, urbanas, agropecuárias ou florestais (BRASIL, 2013).

Neste viés de análise, reporta-se que o processo de validação é uma etapa necessária na pesquisa, visto que há necessidade de analisar a acuracidade do mapeamento. Assim, o Quadro 3 exhibe os resultados para os indicadores estatísticos referentes ao índice de acurácia global e ao índice de kappa.

Quadro 3 – Qualificação do Índice de kappa e de Acurácia global

Índice	Valor	%	Classificação
Kappa	0,864	86,4	Excelente
Acurácia Global	0,873	87,3	Excelente

Fonte: Autores (2016).

Analisando o mencionado quadro, verifica-se que o mapeamento de uso e cobertura da terra, realizado com base na interpretação da imagem de satélite SPOT-5, obteve um grau de concordância da ordem de 86% (kappa) e 87% (acurácia global), evidenciando uma excelente classificação do uso e cobertura da terra quando confrontado com a realidade de campo. Salienta-se que as classes onde ocorreu o maior percentual de erros foram os referentes à agricultura, mata ciliar e caatinga aberta, as quais foram corrigidas após o trabalho de campo.

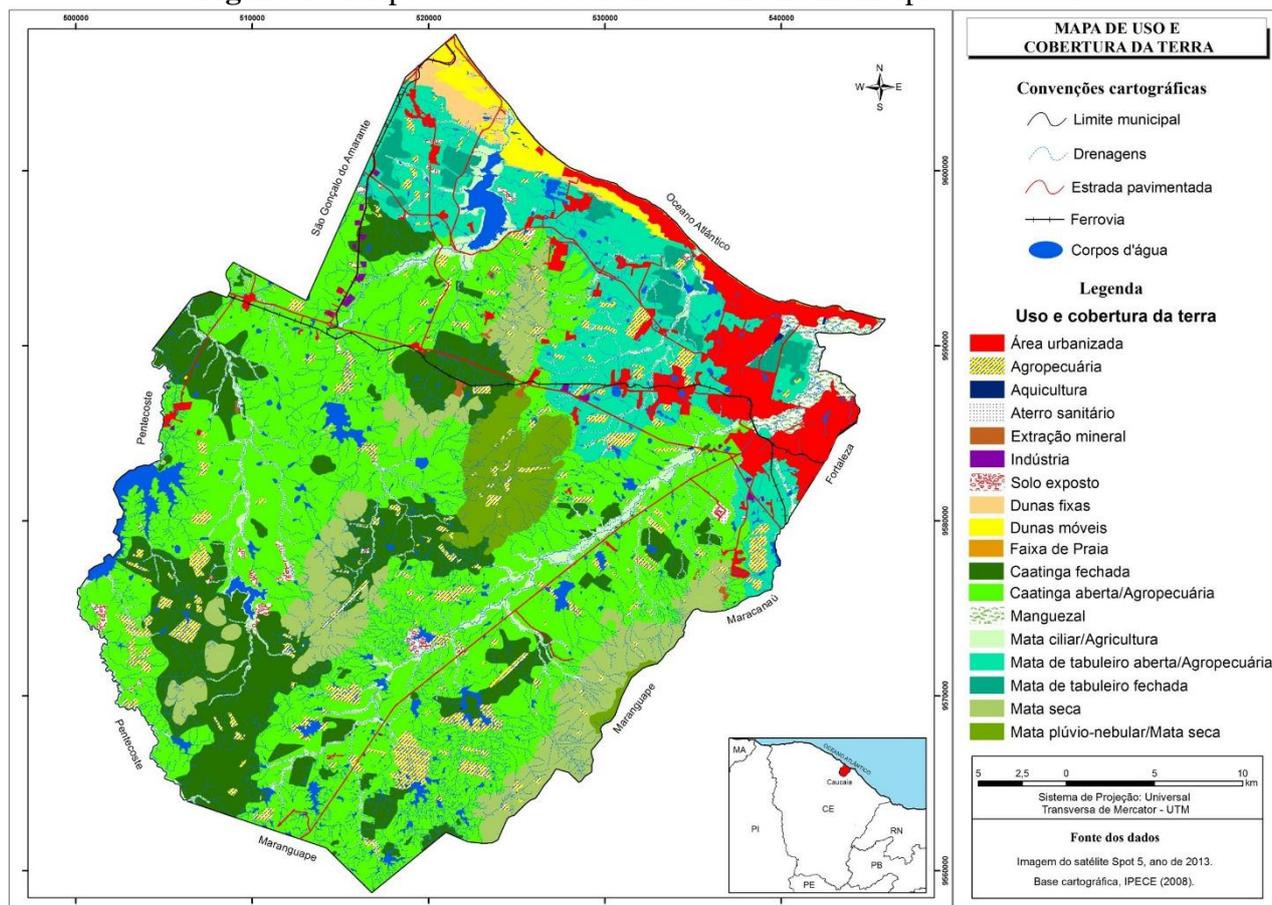
Neste contexto, como produto dos procedimentos metodológicos e operacionais deste estudo, exhibe-se no Quadro 4 o quantitativo da área e suas respectivas classes que foram mapeadas. Na perspectiva de espacializar estas informações, a Figura 4 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra para o município de Caucaia.

Em síntese, verifica-se uma prevalência das classes da vegetação de caatinga aberta associada com a atividade da agropecuária (39,92%), vegetação de caatinga fechada (14,28%), mata de tabuleiro aberta/agropecuária (10,08%), mata seca (8,01%) e as áreas urbanizadas (5,48%). No referido mapa constata-se que as áreas urbanizadas encontram-se em sua grande maioria na parte norte do município, que é o local de incidência dos sistemas ambientais da planície litorânea e dos tabuleiros pré-litorâneos.

Quadro 4 – Área (km²) das classes de uso e cobertura da terra no município de Caucaia

Uso e cobertura	Área em km ²	%
Caatinga aberta / Agropecuária	490,39	39,92
Caatinga fechada	175,46	14,28
Mata de tabuleiro aberta / Agropecuária	123,84	10,08
Mata seca	98,39	8,01
Área urbanizada	67,32	5,48
Agropecuária	59,06	4,81
Mata ciliar / Agropecuária	57,28	4,66
Corpos d'água	47,13	3,84
Mata plúvio-nebular / Mata seca	39,24	3,19
Mata de tabuleiro fechada	20,44	1,66
Dunas móveis	16,27	1,32
Manguezal	11,41	0,93
Dunas fixas	9,23	0,75
Solo exposto	6,26	0,51
Indústria	2,18	0,18
Faixa de Praia	2,00	0,16
Extração mineral	1,53	0,12
Aterro sanitário	0,87	0,07
Aquicultura	0,30	0,02
Total	1.228,57	100,00

Fonte: Autores (2016).

Figura 4 – Mapa de uso e cobertura da terra no município de Caucaia

Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Constata-se, ainda, que a atividade agropecuária ocorre de forma dispersa no território, e na sua maioria, ocupando pequenas áreas, sobretudo, nas proximidades das planícies fluviais, que é onde se encontram as condições mais propícias relacionadas à fertilidade de solos e a presença de água, favorecendo assim o seu desenvolvimento. Quanto à indústria, esta atividade está tendendo a ter uma maior concentração no setor oeste do município, ou seja, na região do Complexo Industrial e Portuário de Pecém (CIPP).

Ressalta-se que as associações de tipos de uso e cobertura da terra são empregadas quando diversos padrões são encontrados muito próximos uns dos outros. Portanto, quando mais de 80% de uma área é ocupada por só um tipo de uso, esta será mapeada como unidade simples. Se não existe uma classe dominante e duas classes diferentes atingem 80% ou mais da área, então as duas são combinadas, surgindo uma nova categoria de uso com duas classes associadas (BRASIL, 2013).

Frisa-se que no caso de associações de classes de uso e cobertura da terra, a tipologia inserida em primeiro lugar na legenda constitui o tipo mais representativo no território. Nesse sentido, a preocupação, cada vez mais frequente, sobre a forma e o tipo de ocupação do território tem levado os Governos e a sociedade a se interessarem por estudos que abordem essa questão.

Nesta perspectiva, entende-se que pesquisas, análises e interpretações do uso e cobertura da terra colaboram, de maneira consistente, com o conhecimento aprofundado de uma região. De acordo com o IBGE (BRASIL, 2013), este tipo de mapa contribui para o acervo de conhecimento de determinada área e aliado aos mapeamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos podem indicar o nível de vulnerabilidade ambiental de uma região, fornecendo assim subsídios para avaliações dos impactos ambientais em diversos níveis de intensidade, sendo este um estudo a ser realizado em uma futura pesquisa.

Dessa forma, por meio do levantamento do uso e cobertura da terra, podem-se identificar as

atividades (usos preponderantes) inadequadas e/ou conflitivas no município de Caucaia, auxiliando, por conseguinte, no planejamento territorial, na elaboração de projetos setoriais de uso do solo, na localização de atividades diversas e nos zoneamentos setoriais.

4.2. Avaliação do uso e cobertura da terra nas Áreas de Preservação Permanente

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006), a superposição cartográfica da malha ambiental (unidades de conservação, áreas de preservação e terras indígenas) sobre a malha municipal, por meio de técnicas de SIG, constitui um importante instrumento para subsidiar o planejamento e o ordenamento territorial.

Na perspectiva de contemplar esta abordagem e de acordo com os objetivos traçados neste estudo, este tipo de mapeamento, quando aliado à verificação do uso e cobertura da terra nas Áreas de Preservação Permanente (APP), permite identificar as incompatibilidades legais que se materializam no território.

Assim, objetivando mapear as APP e unidades de conservação (UC) inseridas no município de Caucaia, efetuou-se uma análise da legislação ambiental vigente, tendo em vista que quando a legislação incidente nos locais a serem efetivamente protegidos é desrespeitada, há consequentemente conflitos de usos. Neste contexto, a APP é definida no Código Florestal (BRASIL, 2012) como um setor espacial de extrema relevância e que deve ser protegida, em virtude de sua função ambiental estratégica. Portanto, constituem as APP:

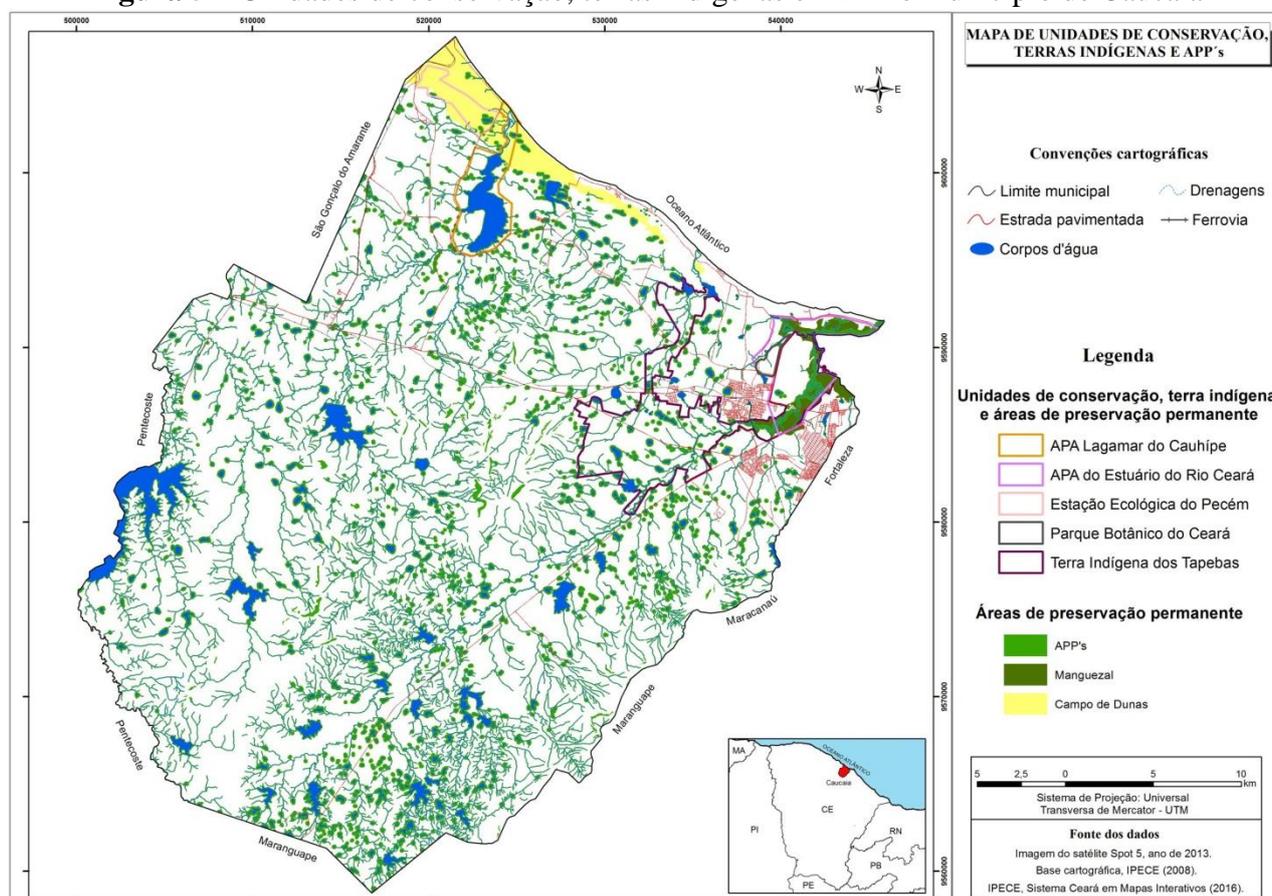
I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima: a) de 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros; b) de 30 (trinta) metros, em zonas urbanas; III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; VII - os manguezais, em toda a sua extensão; VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação; X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação; XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado (BRASIL, 2012, art. 4º).

Ao considerar a legislação em pauta e a escala cartográfica adotada (1:25.000), associado as condições geoambientais do município de Caucaia, as APP mapeadas e que constituem a base jurídico-institucional correspondem às: i) áreas marginais dos rios, dependendo da largura dos mesmos; ii) áreas de nascentes ou olho d'água num raio de 50 metros; iii) entorno de lagoas e açudes, segundo o local de ocorrência (urbano ou rural); iv) setores com declividade superior a 45°; v) áreas de dunas e vi) manguezais.

Fazem parte também da base jurídico-institucional dessa pesquisa as Unidades de Conservação (UC) existentes no município de Caucaia, referentes à: vii) Estação Ecológica do Pecém; viii) Área de Proteção Ambiental (APA) do Lagamar do Cauhipe; ix) APA do Estuário do Rio Ceará; x) Parque Botânico do Ceará e; xi) Terra Indígena dos Tapebas.

Na perspectiva de espacializar a base jurídico-institucional, apresenta-se na Figura 5 a localização das Unidades de Conservação, a terra indígena dos Tapebas e Áreas de Preservação Permanente mapeadas no município de Caucaia, sendo que estes locais compreendem uma área estimada de 332,50 km² (excluídas as intercessões), significando 27% do território municipal.

Figura 5 – Unidades de conservação, terras indígenas e APP no município de Caucaia



Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Vale salientar que a Estação Ecológica do Pecém possui uma área dentro dos limites de Caucaia de 600,91 ha, conforme o decreto estadual nº. 25.708 de 1999. Uma UC pertencente a essa categoria (Estação Ecológica) tem como escopo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.

Criada pelo decreto estadual nº. 24.957 de 1998, a APA do Lagamar do Cauhipe detêm 1.685,83 ha, constituindo-se em um patrimônio paisagístico do município, estando inserida no contexto dos sistemas ambientais da planície lacustre, dos tabuleiros pré-litorâneos e da planície litorânea.

A APA do Estuário do Rio Ceará foi concebida no ano de 1999, por meio do decreto estadual nº. 25.413, de 29 de março, contemplando uma área de 1.932,82 ha. Neste setor ocorrem os sistemas ambientais das dunas, dos tabuleiros pré-litorâneos e da planície flúvio-marinha, configurando-se em um importante patrimônio paisagístico de Caucaia.

Não obstante, atualmente verifica-se uma forte pressão demográfica nesta UC, a qual é rodeada pelas áreas urbanas da sede de Caucaia e do município de Fortaleza, o que potencializa a execução de uma variedade de atividades humanas que podem gerar conflitos de uso da terra neste local, como, por exemplo, o desmatamento do manguezal, a poluição do rio Ceará, a retirada de areia para uso na construção civil, entre outras ações.

O Parque Botânico, criado pelo decreto estadual nº. 24.216 de 1996, possui uma área de 157,30 ha. Trata-se de uma UC com caráter de proteção integral, visando resguardar a vegetação do complexo vegetacional litorâneo, composta pela mata de tabuleiro e pelo manguezal.

Ressalta-se, ainda, que foi identificada em Caucaia a reserva indígena dos Tabebas, cuja terra foi delimitada pela Fundação Nacional dos Índios (FUNAI), perfazendo um quantitativo aproximado de 5.618 ha. Salienta-se que esta área ainda precisa ser homologada pelo Governo Federal para ter o registro cartorial oficial, constituindo estas ações as últimas etapas do processo demarcatório da terra indígena.

Ao combinar espacialmente as informações do mapa de uso e cobertura da terra (Figura 4), com o mapa das unidades de conservação, terras indígenas e APP (Figura 5), tem-se o cenário almejado na pesquisa, apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Uso e cobertura da terra (em hectares) presentes nas APP, unidades de conservação e terras indígenas no município de Caucaia

Uso e cobertura da terra	Área (ha)					
	APP	APA do Rio Ceará	APA do Lagamar do Cauhípe	Estação Ecológica do Pecém	Parque Botânico do Ceará	Terra Indígena dos Tapebas
Agropecuária	1.327,57	18,87	0,74	0,00	0,00	272,15
Aquicultura	7,74	22,91	0,00	0,00	0,00	3,43
Área urbanizada	505,49	316,31	16,92	0,00	0,01	170,90
Caatinga aberta / Agropecuária	11.041,55	0,00	1,57	0,00	0,00	1.458,38
Caatinga fechada	2.652,94	0,00	0,00	0,00	0,00	11,52
Corpos d' água	369,04	13,46	623,35	9,83	0,77	173,97
Dunas fixas	922,52	0,00	8,64	479,65	0,00	0,00
Dunas móveis	1.626,55	0,00	133,84	97,80	0,00	0,00
Faixa de Praia	0,00	0,00	4,10	0,00	0,00	0,00
Indústria	19,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manguezal	1.140,98	890,90	0,00	0,00	0,49	622,68
Mata ciliar / Agropecuária	3.432,43	8,05	521,73	0,00	0,33	654,42
Mata de tabuleiro aberta / Agropecuária	2.247,54	345,20	305,57	13,63	0,00	1.691,22
Mata de tabuleiro fechada	135,81	317,13	61,08	0,00	155,70	545,09
Mata seca	1.470,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mata plúvio-nebular / Mata seca	588,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Extração mineral	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solo exposto	92,67	0,00	8,30	0,00	0,00	14,23
Total	27.612,55	1.932,82	1.685,83	600,91	157,30	5.618,00

Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Analisando o mencionado quadro, constata-se que: a) há degradação de significativas extensões das matas ciliares dos cursos e mananciais d'água, cuja preservação tem como função principal servir de barreira ao aporte de sedimentos e poluentes; b) os manguezais e paleodunas são outras áreas de reservas ecológicas afetadas pelas ações antrópicas, principalmente associado aos desmatamentos indiscriminados; c) nas áreas de APP é significativo o uso da terra em atividades relacionadas à agropecuária (4,8%), encontrando-se, também, em menor escala, as atividades da aquicultura, indústria e mineração, além das influências das áreas de expansão urbana (1,8%), as quais podem causar impactos ambientais irreversíveis.

Conforme o mapeamento realizado, não se identificaram na Estação Ecológica do Pecém e no Parque Botânico do Ceará atividades humanas causadoras de degradação ambiental. Não obstante, nas APAs do Rio Ceará e do Lagamar do Cauhípe, encontraram-se atividades relacionadas, sobretudo, à agricultura e áreas de expansão urbana, notadamente por meio dos loteamentos.

Quanto à terra indígena dos Tapebas, a maior parte da área é composta pela vegetação de caatinga e manguezais, ressaltando que foi mapeada parcela significativa de área urbana neste setor, englobando o seu núcleo populacional, em associação aos vetores de crescimento de Caucaia.

Nessa perspectiva, as figuras seguintes (Figuras 6 a 9) têm por objetivo retratar feições qualitativas do território ilustrando exemplos de degradação ambiental ocorrida no município em diferentes sistemas ambientais, geradas a partir de atividades humanas.

Figura 6 – Esgoto de empreendimento hoteleiro lançado a céu aberto na praia de Iparana



Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Figura 7 – Desmatamento da vegetação do maciço residual do Juá para cultivo de bananeira



Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Figura 8 – Flagrante de área desmatada da vegetação de tabuleiro para a extração de lenha



Fonte: Organizado pelos autores (2016).

Figura 9 – Planície fluvial do Rio Ceará apresentando a mata ciliar degradada

Fonte: Organizado pelos autores (2016).

É importante salientar que o estado de conservação dos recursos hídricos presentes nas UCs, especialmente nas APP, encontra-se bastante comprometido por ações humanas degradacionais, carecendo estes locais passar por uma política de recuperação prioritária. Sugere-se que esta política deve ser conduzida pelo poder público, tendo a participação dos proprietários das terras e a população como um todo, para que sejam aceitas e efetivadas as ações de preservação e conservação ambiental a serem adotadas.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, corrobora-se que o emprego das técnicas de geoprocessamento e o uso de insumos derivados de sensoriamento remoto, inseridos em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), contribuíram, de forma exitosa, no mapeamento do uso e cobertura da terra do município de Caucaia, possibilitando uma análise integrada e pormenorizada das Áreas de Preservação Permanente (APP).

Do ponto de vista ambiental, o município em epígrafe é caracterizado pela presença da planície litorânea, planície ribeirinha, tabuleiros pré-litorâneos, depressão sertaneja e maciços residuais. Estas particularidades geoambientais derivam ações antrópicas das mais diversas facetas quando se analisa a caracterização socioeconômica, tendo em vista que Caucaia é o segundo maior município em termos de contingente populacional do Ceará, além de ter significativa atividade econômica voltada para os setores da indústria e dos serviços.

Nesta perspectiva, o mapeamento empreendido permitiu identificar as classes de uso e cobertura da terra preponderantes, destacando-se: caatinga aberta / agropecuária (490,39 km²); caatinga fechada (175,46 km²), mata de tabuleiro aberta / agropecuária (123,84 km²), mata seca (98,39 km²), área urbanizada (67,32 km²) e agropecuária (59,06 km²). Desse modo, menciona-se que

o mapa de uso e cobertura da terra representa importante subsídio para o planejamento territorial ao apontar, espacialmente, a localização dos diversos usos existentes no município.

Ressalta-se que os índices estatísticos de acurácia global e de kappa confirmaram a qualidade do mapeamento de uso e cobertura da terra gerado, verificando-se, desse modo, a eficiência dos métodos utilizados neste estudo.

Após o mapeamento do uso e cobertura da terra, efetivou-se a cartografia da base jurídico-institucional, que considerou: APP, APA do Rio Ceará, APA do Lagamar do Cauhípe, Estação Ecológica do Pecém, Parque Botânico do Ceará e, Terra Indígena dos Tapebas. Cita-se que as APP são espaços territoriais que devem ser protegidos, pois representam instrumentos de relevante interesse ambiental, integrando o desenvolvimento sustentável como sendo este último o objetivo das presentes e futuras gerações.

Neste contexto, realizou-se o cruzamento dos dados georreferenciados para constatar, espacialmente, as irregularidades nas áreas legalmente protegidas. Dentre os setores da base jurídico-institucional analisados, merece destaque as APP, em virtude do significativo uso destes espaços com relação às atividades agrícolas, o qual contempla cerca de 5% das irregularidades mapeadas. Outras atividades que podem causar impactos negativos nestas áreas correspondem a indústria, a extração mineral e a urbanização, devendo estas atividades serem fiscalizadas pelos órgãos públicos competentes com vistas a mitigar seus impactos ambientais.

Em síntese, o mapeamento empreendido, na escala cartográfica de 1:25.000, demonstrou evidências significativas quanto ao uso da terra inadequado em áreas de preservação permanente, contribuindo, dessa forma, para a degradação ambiental.

Por fim, menciona-se que o trabalho apresentado possibilitou inferências notórias quanto ao mapeamento do uso e cobertura da terra atual em Caucaia, fornecendo dados importantes que podem ser usados para o planejamento territorial objetivando o desenvolvimento sustentável deste município.

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas**. Aplicações na agricultura. 2^a. ed, Brasília: EMBRAPA, 1998.

BORROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987.

BRANDÃO, R. L; CAVALCANTE, I. N; SOUZA, M. J. N. **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. vol. 1. Fortaleza: Projeto SINFOR/CPRM, 1995.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial oficial dos Estados e Municípios Brasileiros**. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 15 out. 2016.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Coordenação dos Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3^o ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

_____. Lei Federal n.º 12.651. **Institui o novo Código Florestal**. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 12 dez. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Zoneamento Ecológico-Econômico: diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil**. 3ª ed. Brasília: MMA: Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, 2006.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Base cartográfica do Polo Ceará Costa do Sol**. Nota técnica nº 35. Fortaleza - CE IPECE, 2008. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/notas_tecnicas/NT-35.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2016.

_____. **Perfil Básico Municipal**. Caucaia. 2016. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/index_perfil_basico.htm>. Acesso em: 15 jan. 2017.

_____. **Sistema Ceará em Mapas Interativos**. 2016. Disponível em: <<http://mapas.ipece.ce.gov.br>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo - SP. Editora Oficina de Textos, 2007.

_____. Sensoriamento remoto para geomorfologia. In: Florenzano, T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo - SP. Editora Oficina de Textos, cap. 2, p. 36-65, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. 1ª edição. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 2009.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Texas, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

MANZER, G. Practical considerations for avoiding problems in the production of digital orthophotos. **Geomática**. V 49. nº 4. p. 455-462, 1995.

MARINHO, E.; FASBENDER, D.; KOK, R. D. **Spatial assessment of categorical maps a proposed framework**. In: Proceedings of the 4th GEOBIA. Rio de Janeiro, 2012.

MEDEIROS, C. N de. **Vulnerabilidade socioambiental do município de Caucaia (CE): Subsídios ao ordenamento territorial**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UECE. Fortaleza – CE, 267p, 2014.

MEDEIROS, C. N. de; SOUZA, M. J. N de. Mapeamento dos sistemas ambientais do município de Caucaia (CE) utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG): subsídios para o planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 30-45, 2015.

NOBRE, M. N. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento de planejamento e gestão ambiental: uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP)**. 2008. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. UNESP. Rio Claro – SP. 249p, 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª. ed, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2004.

SOUZA, M. J. N. de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: SOUZA, M. J. N. de; LIMA, L. C.; MORAIS, J. O. de (Org.) **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Ed. FUNECE, 2000.

Data de submissão: 06.04.2017

Data de aceite: 05.06.2018

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.