



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Evolução Espaço-Temporal da Ocupação Urbana Sobre Áreas Naturais em Ambientes Costeiros

Joseane Dunga da Costa¹, Ricardo Farias do Amaral², Paulo Victor do Nascimento Araújo³

¹Doutora em Manejo do Solo e Água, professora da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte (joseane.costa@ufersa.edu.br); ²Doutor em Geociências, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Centro de Ciências Exatas e da Terra (CCET), Departamento de Geologia (projeto_corais@yahoo.com.br). ³Doutor em Geodinâmica e Geofísica, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Macau (paulo.araujo@ifrn.edu.br).

Artigo recebido em 21/01/2021 e aceito em 19/05/2021

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise multidecadal da evolução espaço-temporal da ocupação urbana sobre áreas naturais nas Zonas Sul e Oeste do município de Natal-RN, por meio de geotecnologias e estudo de campo. Foram identificados e caracterizados, entre o período de 1969 a 2013, os impactos da expansão urbana sobre as principais Áreas de Preservação Permanente - APP (margens de rios e lagoas, e dunas e seus remanescentes) e suas alterações temporais. Para isto foram usadas fotografias aéreas, imagens de satélite e curvas de nível, além de informações pré-existentes, o que permitiu a criação de um robusto banco de dados espaciais, e que resultou na construção de mapas de evolução das áreas impermeáveis e do uso e ocupação do solo. Em linhas gerais, verificou-se que a ocupação urbana avançou cerca de 60 % sobre as áreas naturais estudadas. Esse avanço foi crescente até o ano de 2006, quando se observou uma desaceleração neste processo, excetuando a Zona de Proteção Ambiental (ZPA) 03, onde está o rio Pitimbu e a sua APP, que experimentou uma perda mais significativa de área. A ocupação urbana afetou a drenagem natural e contribuiu para a contaminação das águas subterrâneas de Natal, devido ao aumento da área impermeabilizada, do lançamento de resíduos sólidos e líquidos, bem como a retirada da mata ciliar, o que alterou de modo irreversível a paisagem natural e reduziu a qualidade e quantidade dos recursos hídricos locais, necessários à população.

Palavras-chave: Dinâmica da Paisagem. Morfodinâmica Urbana. Uso e Ocupação do Solo. Degradação Ambiental. Impacto Ambiental.

Space-Temporal Evolution of Urban Occupation on Natural Areas in Coastal Environments

ABSTRACT

This work aimed to perform a multidecadal analysis of the spatio-temporal evolution of urban occupation over natural areas in the South and West Zones of the Natal-RN city, through geotechnologies and field study. Between 1969 and 2013, the impacts of urban expansion on the main Permanent Preservation Areas - PPA (banks of rivers and lagoons, and dunes remaining) and their temporal changes were identified and characterized. For this, aerial photographs, satellite images and contour lines were used, in addition to pre-existing information, which allowed the creation of a robust spatial database, which resulted in the construction of evolution maps of impervious areas and the use of and land occupation. In general, it was found that urban occupation advanced about 60% over the studied natural areas. This advance was increasing until 2006, when there was a slowdown in this process, except for the Environmental Protection Zone (EPZ) 03, where the Pitimbu River and its PPA are located, which experienced a more significant loss of area. The urban occupation affected the natural drainage and contributed to the contamination of the groundwater of Natal, due to the increase of the waterproofed area, the release of solid and liquid residues, as well as the removal of the riparian forest, which irreversibly altered the natural landscape. And reduced the quality and quantity of local water resources needed by the population.

Keywords: Landscape Dynamics. Urban Morphodynamics; Land Use and Land Cover; Environmental Degradation. Environmental Impact.

Introdução

As dificuldades de gestão integrada dos recursos no ambiente costeiro são antigas, também é sabido que as resoluções destas tensões se fazem “através de uma clara compreensão dos problemas e opções que se nos oferecem” (Marshall, 1976; Cavalcante e Aloufa, 2018; Andrade e Santiago, 2020). Já os problemas de ocupação do litoral brasileiro vêm se caracterizando por profunda alteração e deterioração da paisagem (Muehe, 2001; Mello et al., 2013; Silva e Farias-Filho, 2019), fato bem evidenciado na zona costeira do Nordeste do Brasil, e em estados com forte apelo turístico, o que favorece a expansão desordenada do mercado imobiliário e seu interesse pelas paisagens associadas aos ecossistemas de praias, estuários, rios, lagoas, dunas, mangues e restingas.

O município de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte (RN), é reconhecido por um alto potencial turístico. Ao longo das últimas décadas, o elevado crescimento urbano no município de Natal é regido pelos interesses imobiliários privados, marcando historicamente o processo de ocupação do solo através da especulação imobiliária, principalmente entre 1970 e 1990. Crescimento urbano que proporcionou simultaneamente um forte impacto ambiental, ocasionando especialmente a degradação da qualidade da água do estuário Potengi/Jundiá e o desaparecimento da maioria das lagoas localizadas nas áreas de expansão urbana (Medeiros, 2001; Costa, 2015). Essas lagoas, juntamente com os córregos associados aos rios Potengi e Pitimbu, compunham o sistema de drenagem natural da cidade (Amaral et al., 2005). Esse fato tem sido considerado como um dos responsáveis pela ocorrência de inundações em Natal, nos períodos de chuvas mais intensas (Lima et al., 2019).

Embora Natal contenha várias Zonas de Proteção Ambiental (ZPA's), estas sofrem intensa pressão de uso, enquanto várias APP's encontram-se fora desse zoneamento, como os remanescentes de dunas. Conforme menciona a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo – SEMURB (SEMURB, 2017), que várias dunas estejam parcialmente degradadas e isoladas no conjunto da cidade. E como áreas remanescentes, são consideradas Áreas de Preservação Permanente perante a legislação local.

São observadas ocupações na bacia e no entorno dessas unidades, modificando ou destruindo a drenagem natural, onde os efluentes domésticos e industriais passam a ser lançados (Medeiros, 2001), podendo diminuir a recarga direta, aumentar presença de inundações, bem como favorecer os riscos de contaminação do lençol freático. Nóbrega et al. (2008), relatou sobre o excesso de nitrato no aquífero dunas/barreiras na grande Natal, em decorrência do aporte de carga contaminante oriunda, especialmente, de fossas e sumidouros domésticos em direção às águas.

A análise morfodinâmica pode ser usada como uma importante ferramenta de apoio para verificar a intensidade e importância das mudanças exercidas sobre o meio ambiente, pois permite verificar e medir alterações na geometria dos corpos hídricos como estuários, lagoas e rios, remanescentes de dunas e áreas verdes, como matas ciliares. O que possibilita a inferências sobre o comportamento espacial e temporal dos recursos hídricos e de sua qualidade.

Estudos sobre a geomorfologia em análises da evolução da dinâmica espacial e temporal urbana, foram desenvolvidos em várias regiões do Brasil, com a finalidade de subsidiar o planejamento urbano e territorial das cidades (e.g. Mello et al., 2013; Marques et al., 2017; Brandani, 2018; Garcia et al., 2020; Nunes et al., 2020).

Na cidade de Natal, também existem artigos como de Medeiros (2001), Amaral et al. (2005), Lisboa et al. (2011), Medeiros et al. (2012), Silva et al. (2014) Medeiros e Almeida (2015), Macedo (2018), Brito et al. (2019), e Lima et al. (2020). Além destes, a SEMURB (2017) realizou um estudo de remanescentes de dunas em Natal, buscando promover o equilíbrio entre a dinâmica urbana e a conservação de fragmentos dispersos na cidade que preservam características peculiares ao ecossistema Dunas. Também, destaca-se o trabalho de Lima et al. (2019), que identificou e avaliou áreas susceptíveis a alagamentos urbanos em Natal, considerando a integração de dados altimétricos, drenagem natural e históricos de alagamentos e precipitações horárias. Apesar da literatura disponível, ainda há um *gap* de informações sobre o comportamento da expansão urbana sobre as principais áreas naturais, durante as últimas décadas.

Neste contexto o presente artigo tem por objetivo realizar uma análise multidecadal da evolução espaço-temporal da ocupação urbana sobre áreas naturais nas Zonas Sul e Oeste do município de Natal, com o intuito de identificar as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo e no relevo (geomorfologia) das principais APP's (margens de rios e lagoas, e dunas e remanescentes), entre o período de 1969 a 2013, por meio de geotecnologias e estudo de campo.

Área de Estudo

A cidade de Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte, está situada no litoral oriental da região Nordeste do Brasil (Figura 1). Possui uma altitude média de 40 metros, apresentando uma população de 803.739 habitantes, com uma área de 167,263 km², densidade demográfica 4.805,24 hab./km² (IBGE, 2010), tem 36 bairros e está subdividida nas regiões administrativas norte, sul, leste e oeste.

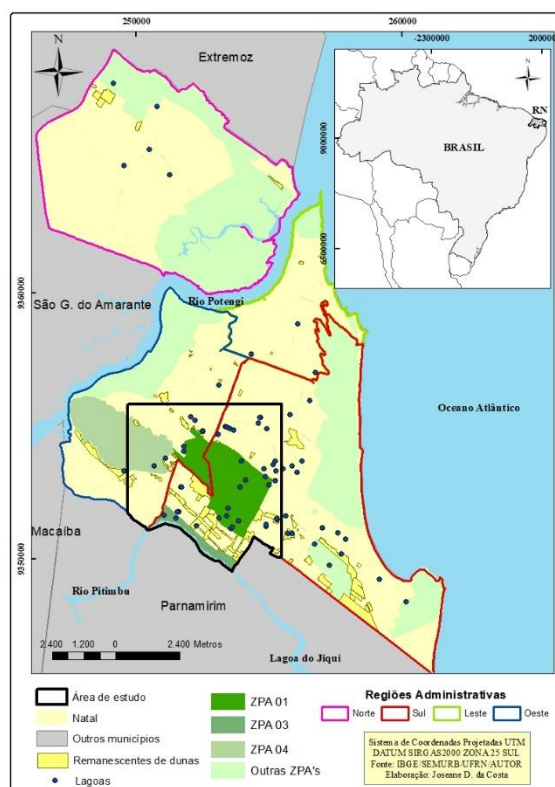


Figura 01. Localização da área de estudo no município de Natal-RN, Brasil. Em destaque, são indicados as Zonas de Proteção Ambiental (ZPA's), os remanescentes de dunas e a posição das lagoas.

Natal possui um Código de Meio Ambiente (Lei nº 4.100, 19 de julho de 1992)

que dispõe sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP's). Nele, as APP's são constituídas por dunas, vegetação (mata ciliar) e margens de rios e lagoas (naturais e artificiais), assim como as vertentes do rio Doce e Pitimbu, estuários, entre outros (Natal, 1992).

A cidade está inserida no conjunto de bacias hidrográficas dos rios: Potengi, Doce e Pirangi, além de possuir um complexo de lagoas naturais e artificiais. Sob o ponto de vista geológico, é formada por sedimentos quartzosos dos depósitos eólicos dunares do Neógeno, sobrepostos aos depósitos da Formação Barreiras.

A área de estudo compreende um recorte amostral significativo da cidade de Natal, compreendendo a porção sul e oeste do respectivo município. Esta área de estudo foi escolhida de forma a representar as características naturais e problemas socioespaciais de Natal, de acordo com os seguintes critérios: adensamento populacional, concentração de Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e pressão imobiliária. Tem o formato de um polígono de aproximadamente 3.012 hectares e possui seu contorno superior definido pela latitude 9355841 m, e os limites leste e oeste definidos pelas longitudes 255469 m e 249679 m todos no datum SIRGAS 2000, sistema UTM, zona 25M. Seu contorno inferior é definido pela fronteira da cidade de Natal com o de Parnamirim, que coincide com o canal do Rio Pitimbu.

Na área de estudo estão inseridos os bairros: Pitimbu, Candelária, Neópolis, parcialmente Lagoa Nova e Capim Macio, ambos na Zona Sul e, Cidade Nova, e parcialmente Cidade da Esperança, Planalto, Guarapes e Felipe Camarão, ambos na Zona Oeste (Figura 1). Nestes bairros, existem áreas de grande importância ambiental para a cidade, como o rio Pitimbu (manancial superficial que contribui com o abastecimento de água doce de 30 % da Região Metropolitana de Natal) e a Lagoa do Jiquí. Há ainda a presença do campo dunar dos bairros Pitimbu e Candelária (ZPA 01), principal área de recarga do aquífero subterrâneo, que garante a demanda de água da cidade (aquífero Dunas/Barreiras). Além de um campo dunar dos bairros Planalto e Guarapes (ZPA 04) e a concentração de lagoas e remanescentes de dunas presentes na área estudada, todos importantes para a drenagem das águas pluviais e abastecimento do lençol freático.

Natal possui classificação climática conforme Köppen-Geiger, do tipo *As*, ou seja, clima tropical, que apresenta chuvas de inverno e verão seco (Alvares et al., 2013). A precipitação pluviométrica anual tem valor máximo de 2.462 mm e mínimo de 640 mm, com média de 1.550 mm (período 1910-2000), além de temperatura média anual de 26,2°C e amplitude térmica de 2,9 °C (Righetto e Rocha, 2005). Um dos elementos climáticos de maior importância para a alimentação das lagoas na cidade de Natal é a precipitação pluviométrica (Medeiros, 2001).

As lagoas consideradas como foco deste estudo formam as depressões com geometria variada, contendo ou não água, de origem natural ou artificial, sendo algumas originadas do afloramento de águas subterrâneas provenientes do aquífero Dunas/Barreiras e alimentadas principalmente pelas precipitações pluviométricas, como a Lagoa do Makro, Lagoa da ZPA 1 e Lagoa Nova Cidade. Além da Lagoa Nova, alterada irreversivelmente, hoje artificializada e denominada por Lagoas do Centro Administrativo, resultando este conjunto na área de estudo, no período de 2013 em 36 lagoas, onde 6 desapareceram e 12 são artificiais.

A constituição geológica de Natal e adjacências permite que se observe, da base para o topo, os seguintes sistemas aquíferos: Cristalinos (Pré-cambriano) não aflorante; sedimentares (Cretáceo) não aflorantes; aquífero Dunas-Barreiras (Terciário a Quaternário) sedimentar e aflorante (SERHID/RN, 1998). Melo (1995), refere-se às dunas e aos sedimentos Barreiras na região de Natal, como constituindo um sistema hidráulico único, complexo e indiferenciado, denominado de Sistema Aquífero Dunas-Barreiras. Neste caso, as dunas exercem a relevante função de transferência das águas de infiltração (chuvas) em direção aos estratos arenosos inferiores do Aquífero Barreiras. O complexo de dunas fixas da região de Natal, inclusive o campo de dunas Pirangi-Potengi (Amaral et al., 2005) que compõe toda a área de estudo, constitui a mais importante área de recarga natural dos aquíferos no município de Natal.

Material e métodos

Para a realização da análise espaço-temporal foram utilizadas ferramentas de

geoprocessamento, por meio dos softwares: ArcGis 10®, Gimp 2.8, Picasa e Google Earth®, com foco nas mudanças ocorridas nos últimos 40 anos, no uso e ocupação do solo, no relevo (geomorfologia), com ênfase nas dunas e remanescentes, e no sistema de lagoas e rios (sistema hídrico superficial). Todos os procedimentos são descritos a seguir.

Base de Dados

Os dados vetoriais utilizados, todos obtidos em formato *shapefile*, tiveram como fonte fotografias aéreas de 2006 com resolução espacial de 5 metros. Foram também utilizados os planos de informação de plantas de loteamentos e arruamentos (SEMURB, 2008), remanescentes de dunas (Lisboa et al., 2011), limite municipal e Zonas de Proteção Ambiental – ZPA's (SEMURB, 2008), e curvas de nível com equidistância de 5 m (SETUR/SIN/IDEMA, 2006).

Preparação dos Dados Analógicos

As cartas altimétricas de 1978 (utilizadas para geração do MDT) foram adquiridas em meio digital no formato *raster* (extensão “.tif”). Estas cartas foram digitalizadas a partir de cópias em papel vegetal, com escala original de 1:2.000 e equidistância entre as curvas de nível de 1 metro. Estas cópias foram restauradas, pela extinta Fundação Instituto de Desenvolvimento do RN – IDEC, com base em levantamento aéreo executado entre dezembro de 1977 e março de 1978. A partir destas cópias, em formato *raster*, foram realizados os seguintes procedimentos no software gratuito Gimp 2.8: rotação, recorte, ajuste de contraste automático e do limiar de cores, além da transformação da imagem para modo indexado-paleta de 1 bit, foi utilizado o método de Floyemberg (perda de cores reduzida), assim, após todo o procedimento, as cartas foram exportadas e salvas no mesmo formato “.tif”. Estas imagens foram, então, vetorizadas pelo método semiautomático, utilizando-se a extensão ArcScan do ArcMap 10.1 (ESRI, 2012) e salvas como arquivos vetoriais de linhas.

As curvas de nível da cidade de Natal, obtidas a partir de imagens de 2006 (IDEMA, Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Natal, 2006), já foram obtidas como arquivos vetoriais de linhas. Neste caso a

equidistância entre as curvas de nível foi de 5 metros.

Os arquivos vetoriais de linhas foram transformados em arquivos vetoriais de pontos, ainda no ArcMap 10.1 (ESRI, 2012), e só então se procedeu o processo de interpolação, como será explicado mais adiante.

Por outro lado, as fotografias aéreas do ano de 1979, com escala aproximada de 1:10.000, foram adquiridas em papel, sendo digitalizadas na resolução de 600 DPI e salvas em formato JPEG. No PICASA 3 (software gratuito) foram realizados procedimentos básicos como rotação, recorte e ajuste automático de brilho e contraste.

O banco de dados da topografia de Natal do ano de 1978 é composto por cartas altimétricas e planimétricas, sendo esta segunda crucial para o georreferenciamento da primeira, já que na extremidade de cada articulação (subdivisão de ordem de organização das cartas) estão as coordenadas em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum Sad69, que servem como pontos de controle para o registro da base altimétrica.

Assim, após selecionar as articulações da altimetria coincidentes com a área de trabalho, 30 ao todo, as coordenadas (pontos de controle) da planimetria correspondente foram transformadas para Sistema de Coordenadas Projetadas UTM e Datum SIRGAS 2000. Os dados transformados foram armazenados em uma planilha no Excel.

Com o auxílio do ArcMap 10.1, as articulações da altimetria foram finalmente georreferenciadas e exportadas como imagens já georreferenciadas e no formato “img”.

O georreferenciamento das fotografias aéreas (1969 e 1979) e imagens de satélites (2013) foi feito através de arquivos *shapefiles* georreferenciados da área (como arruamento, Limite Municipal e ZPA 01 de Natal), no programa ArcMap 10.1 (ESRI, 2012), ajustando-se os pontos de controle (feições materializadas), sendo o método de ajuste utilizado o *Spline*.

Foram adicionados 48 pontos de controle até se conseguir o máximo de exatidão, e ao se conferir o Erro Médio Quadrático (*Total RMS Error*) obteve-se o valor $< 0,0001$.

Geração do Modelo Digital de Terreno

Preparados os dados de entrada (arquivos vetoriais de pontos altimétricos), como visto anteriormente, procedeu-se à

geração dos Modelos Digitais de Terreno, na escala de 1:2000, mediante o método de interpolação modelo determinístico IDW (*Inverse Distance Weighted*) através da extensão Geostatistical Analyst do programa ArcMap 10.1 (ESRI, 2012).

Com a geração dos MDT's foi possível aprimorar a vetorização das classes estabelecidas na fotointerpretação, principalmente nas lagoas, dunas e remanescentes, além do Rio Pitimbu, já que são feições com características que representam associação ao relevo (nível e desnível), facilitando assim as suas delimitações e o traçado dos perfis topográficos.

Mapeamento do uso e ocupação do solo

Com a finalização das etapas de preparação e sistematização dos dados, foi iniciado o mapeamento do uso e ocupação do solo e das APP's, pelo método de vetorização digital em tela por meio da interpretação visual das fotografias (fotointerpretação) dos anos de 1969, 1979, 2006 e 2013. Foram mapeadas feições do meio físico como lagoas, dunas e remanescentes de dunas e rio Pitimbu, além da ocupação urbana. em uma escala de trabalho de 1:30.000.

As classes de uso e ocupação utilizadas foram baseadas em trabalhos como os de Vaeza et al. (2010), Amaral et al. (2007) e Araújo et al. (2002). Estes autores estabelecem critérios para a classificação visual das imagens segundo o uso e ocupação do solo, determinando as classes em uma Bacia Hidrográfica Urbana.

Vaeza et al. (2010) classificaram Florestas, Lagoas, Vegetação Rasteira, Telhados, Ruas e Calçadas, Áreas Permeáveis dentro das Quadras (canteiros, hortas, gramados e jardins, os quais ajudam na infiltração da água no solo), Áreas Impermeáveis Dentro das Quadras (ladrilhos, azulejos e pavimentos, os quais impedem a infiltração, causando redução na recarga da água subterrânea) e telhados. Amaral et al. (2007) definiram as seguintes classes: Ruas e Calçadas, Área permeável dentro dos lotes, Área impermeável dentro dos lotes e Lagoas. Já Araújo et al. (2002) classificaram em Impermeável dentro do lote (pavimentos, telhados, piscinas), Impermeável fora do lote (ruas e calçadas) e Permeável (jardins, quintais e praças).

Com base na análise destes autores e procurando adequar as suas propostas aos

objetivos da pesquisa e à realidade da área mapeada, foram criadas as classes de uso e ocupação apresentadas no Tabela 1.

Assim, as áreas impermeáveis corresponderam à ocupação urbana, por estar inserida nessa classe elementos que caracterizam a urbanização, ou seja, o ambiente alterado pelo homem. Para a classe permeável

fora dos lotes, foram considerados alguns itens como praças, caminhos de areia e picadas, que apesar de não interferir na permeabilidade do solo até certo ponto, são características de um ambiente que está sendo alterado pelo homem, consistindo em um processo de progressão da urbanização.

Tabela 01. Classes de uso e ocupação do solo estabelecidas.

| Classes | Características |
|--|---|
| Áreas impermeáveis dentro dos lotes | Edificações (telhados) e pavimentos. |
| Áreas impermeáveis fora dos lotes | Ruas pavimentadas, calçadas e estradas de barro. |
| Áreas permeáveis dentro dos lotes | Jardins, quintais e dunas e remanescentes. |
| Áreas permeáveis fora dos lotes | Canteiros, praças, lagoas, dunas e remanescentes, rios, caminhos de areia e picadas. |
| Lagoas | Depressões com formas variadas, contendo ou não água, de origem natural ou artificial (aproveitamento do relevo para drenagem das águas pluviais). |
| APP das Lagoas | Buffer de 50 metros a partir da margem, no período de maior cheia da lagoa, segundo o Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental (BRASIL, 2000), além do Plano Diretor da Cidade (NATAL, 2009), os quais são mais restritivos comparados ao Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), que além de estar em transição, dispõe que deve ser utilizada a margem regular do manancial para determinar sua APP. |
| Dunas e remanescentes | Elementos contínuos e elevados, bem como os fragmentos isolados de dunas, definidas como remanescentes, e que ainda mantêm as suas formas naturais, de acordo com imagem e o MDT. |
| Rio Pitimbu | Trecho inserido no município de Natal. |
| APP do Rio Pitimbu | Buffer de 100 metros a partir da margem, no período de maior cheia do Rio, com o auxílio do MDT. A APP foi delimitada pela margem do ano de 1978, já que se apresentou maior. |

Dessa maneira, o mapeamento foi realizado primeiramente para as classes permeáveis e impermeáveis, determinando a ocupação urbana do solo. Em seguida, foram mapeados os aspectos naturais, e unindo os dois mapeamentos, determinou-se o uso e ocupação da área de estudo, bem como a visualização do avanço da ocupação urbana e a análise sobre as feições naturais estudadas.

Verdade de Campo

Após o mapeamento, verificou-se a verdade terrestre com o apoio de receptor GPS e máquina fotográfica digital, o que possibilitou a aquisição de novos dados, que, juntamente com as observações de campo, levaram à atualização e confirmação das classes previamente interpretadas e ao acréscimo de novas informações ao mapeamento, como a identificação de pequenas irregularidades no

relevo e detalhes não percebidos nos produtos cartográficos.

Quantificação das Alterações Espaço-Temporais

Com o auxílio do ArcMap10.1 (ESRI, 2012) foram calculadas as áreas, em hectares, das classes vetorizadas e a área total de estudo para os quatro anos de 1969, 1979, 2006 e 2013, permitindo a obtenção das seguintes informações:

- Representação e quantificação da ocupação urbana (impermeabilização) e APP's (classes ambientais), em hectares, para cada ano;
- Porcentagem das áreas em relação ao total da área de estudo para cada ano;
- A diferença de área em hectares de uma data para outra, calculada para verificar o aumento ou a diminuição da classe (Equação 01):

Diferença (ha) = Área data final – Área data inicial (1)

- A porcentagem de variação para cada período, calculada com base na equação 02:

Variação (%) = (Área data final – Área data inicial) x 100 / Área inicial (2)

Além dos resultados quantitativos apresentados em tabelas, gráficos e das alterações visualmente notadas pela comparação entre mapas, verificou-se a necessidade de comparar as diferenças entre os arranjos espaciais para cada intervalo de tempo aqui estudado, também em forma de mapas, como fez Fernandes e Amaral (2013). Para isto foi utilizado o método “diferença simétrica” a partir do software ArcMap 10.1 (ESRI, 2012). Este método fornece informações sobre aumento e diminuição das classes estabelecidas mostrando o que mudou temporalmente com o avanço da expansão urbana.

Dentro do contexto, foram estabelecidas relações entre os planos de informação da ocupação do solo em cada intervalo de tempo. A integração destes resultados pela diferença entre áreas do ano posterior em relação ao tempo inicial no ambiente SIG permitiu vislumbrar nos mapas onde houve diminuição ou aumento de área.

Resultados e discussão

Alterações do Relevo

Uma das formas mais práticas e eficientes de se estudar a alteração ambiental, é através dos Modelos Digitais de Terreno, os quais representam um modelo da superfície

terrestre. Na área, as altitudes máximas evidenciam elevações alongadas, as quais representam as feições de dunas e seus remanescentes; as altitudes mínimas correspondem a depressões, que representam as lagoas e o Rio Pitimbu

Como resultado do estudo das cartas altimétricas do ano de 1978, a partir de um Modelo Digital de Terreno, foram analisadas as principais feições de relevo à época, antes das alterações morfológicas inerentes às atividades de ocupação (cortes, aterros dentre outros). Como resultado, foram obtido seis perfis transversais traçados utilizando o MDT, sendo que 3 perfis representavam o relevo mais elevado, atingindo uma altitude máxima de aproximadamente 100 m.

Impermeabilização do Solo

Na análise da evolução da ocupação do solo entre 1969 e 2013, percebeu-se que a superfície impermeável na área aumentou consideravelmente, ao longo dos quatro subintervalos de tempo analisados, conforme mostra a Figura 2.

A Figura 2 revela que a área de estudo teve o crescimento das áreas impermeáveis (e conseqüente ocupação urbana), fruto da evolução de Natal descrita na literatura (Miranda, 1999; SEMURB, 2010). No ano de 1969 a área de estudo praticamente não era ocupada por edificações, com exceção dos bairros Lagoa Nova e Cidade da Esperança, ainda em desenvolvimento, por isso existia um domínio significativo de áreas permeáveis, porém a divisão em lotes e arruamentos já era observada.

Já em 1979, observa-se o crescimento no sentido de norte a sul bem mais acentuado, no setor leste da área de estudo, com o surgimento de novas ocupações no bairro Candelária, Capim Macio, Neópolis e Cidade Nova da Zona Sul. Além disso, os bairros Planalto e Felipe Camarão passaram a ser loteados.

Após 34 anos, em 2013, verificou-se que a ocupação urbana ocorreu em todos os sentidos da área, mas foi possível perceber que os bairros Guarapes e Planalto ainda tinham uma quantidade considerável de vazios urbanos desde 2006. Foi possível observar também que a quantidade de áreas permeáveis diminuiu muito.

Já no período de 2006-2013, o aumento de áreas impermeáveis não foi tão relevante,

representando 15,6 % da área inicial conforme a Tabela 02. Este valor é explicado por se tratar de um período curto de 7 anos, além do que mais da metade da área de estudo já estava impermeabilizada. Foi nesta época, também,

que o Plano Diretor da Cidade foi revisado, quando foram oficializadas as Unidades de Conservação Ambiental como Parque Municipal Dom Nivaldo Monte.

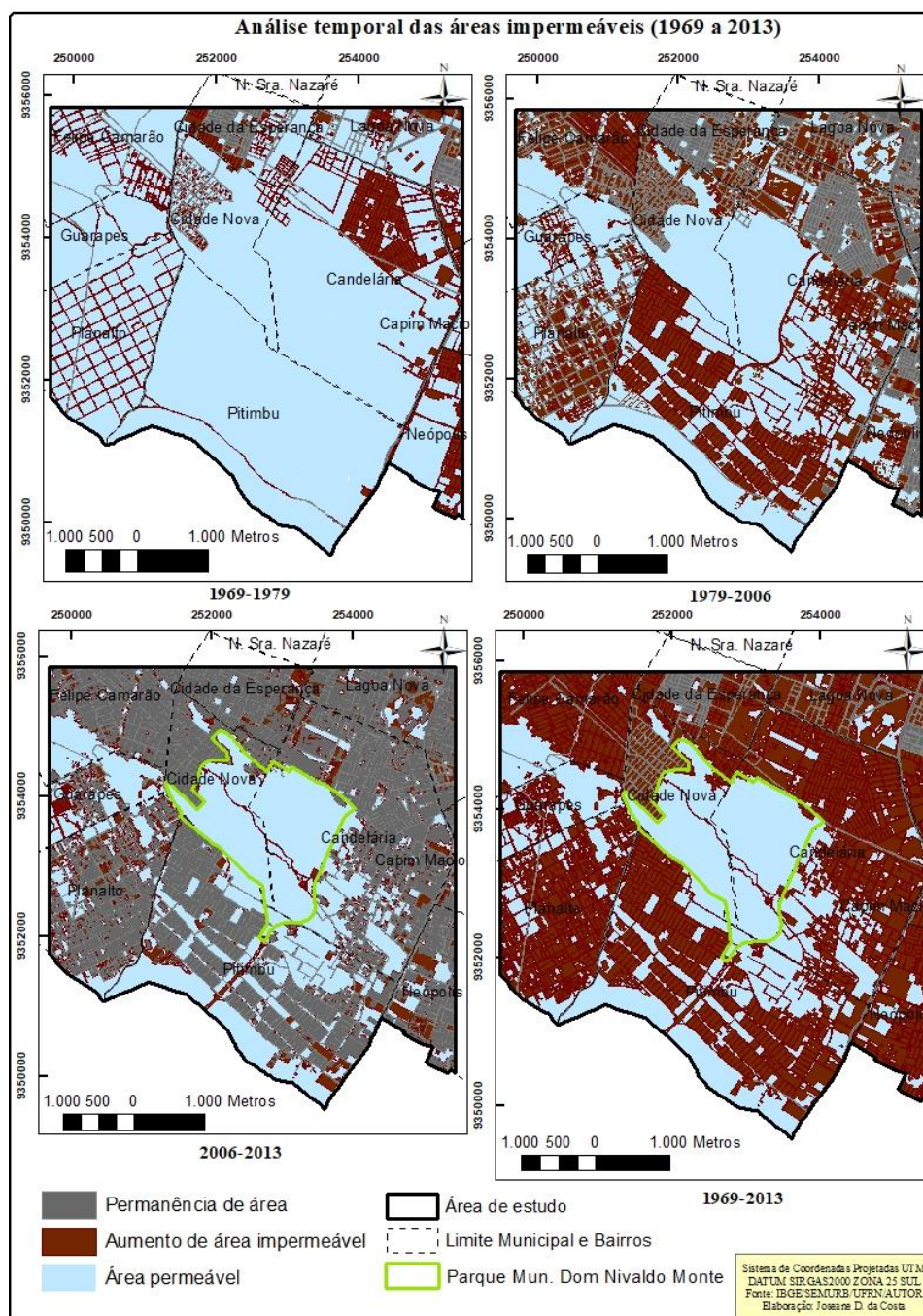


Figura 02. Alterações nas áreas impermeáveis entre 1969 e 2013.

Assim, a área de estudo, apresentou nestes 44 anos, 1969 a 2013, um aumento de aproximadamente 1450 % de áreas impermeáveis, ou seja, a área que antes correspondia a 117,1 ha aumentou para 1815,9 ha. Uma perda de aproximadamente 1700 ha de áreas permeáveis (Tabela 3).

Uso e Ocupação do Solo em Natal de 1969 a 2013

Com o mapeamento das feições naturais, foi possível identificar o avanço da ocupação urbana dos últimos 44 anos sobre as

dunas e seus remanescentes, lagoas e o Rio Pitimbu, bem como sobre as APP's na área de estudo. Este avanço é apresentado no mapa de uso e ocupação do solo na Figura 3.

Em 1969 as lagoas representavam 4,7 % da área de estudo e suas APP's 9,4 %, correspondendo a 140 ha e 283 ha, respectivamente, e em 2013 apenas 1 % e 4 % aproximadamente. Já as dunas e remanescentes, inicialmente ocupavam uma área de 2228,3 ha,

correspondendo a 74 % da área, e em 2013 resultando somente em 30 %. Por último o Rio Pitimbu, cabendo ressaltar que foi considerado o seu trecho urbano inserido na área de estudo, o qual equivalia no ano de 1969 a 1,6 % da área, com 49 ha, chegando a 2013 com 1 %, porém a sua APP praticamente não foi alterada em termos de área, pois variou de 93,5 ha a 90,6 ha durante esse período.

Tabela 02. Variação temporal das classes permeáveis e impermeáveis no período em estudo.

| Variação em porcentagem e hectare de área entre períodos | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|
| Período | 1979-1969 | | 2006-1979 | | 2006-1969 | | 2013-2006 | | 2013-1979 | | 2013-1969 | |
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Áreas impermeáveis dentro dos lotes | 186,4 | 519,9 | 1029,7 | 463,2 | 1216,2 | 3391,4 | 207,1 | 16,5 | 1236,9 | 556,4 | 1423,3 | 3968,9 |
| Áreas impermeáveis fora dos lotes | 118,0 | 145,2 | 119,4 | 59,9 | 237,4 | 292,0 | 38,1 | 11,9 | 157,4 | 79,0 | 275,4 | 338,8 |
| Total de áreas impermeáveis | 304,4 | 259,9 | 1149,1 | 272,6 | 1453,5 | 1240,8 | 245,2 | 15,6 | 1394,3 | 330,7 | 1698,7 | 1450,1 |
| Áreas permeáveis dentro dos lotes | -212,5 | -12,3 | -598,2 | -39,6 | -810,7 | -47,1 | -227,6 | -25,0 | -825,8 | -54,7 | -1038,3 | -60,3 |
| Áreas permeáveis fora dos lotes | -92,0 | -7,8 | -550,9 | -51,0 | -642,9 | -54,8 | -17,4 | -3,3 | -568,4 | -52,6 | -660,3 | -56,3 |
| Total de áreas permeáveis | -304,4 | -10,5 | -1149,1 | -44,4 | -1453,5 | -50,2 | -245,1 | -17,0 | -1394,2 | -53,8 | -1698,6 | -58,7 |

Observação: Os números positivos representam aumento de área, já os negativos, diminuição.

Tabela 03. Variação do tamanho das áreas naturais e relação à área total de estudo.

| Áreas naturais em relação à área de estudo para cada ano | | | | | | | | | |
|--|---------|------|---------|------|---------|------|--------|------|--|
| Classes | 1969 | | 1979 | | 2006 | | 2013 | | |
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | |
| Lagoas | 141,1 | 4,7 | 123,4 | 4,1 | 40,8 | 1,4 | 34,3 | 1,1 | |
| APP's das lagoas | 282,8 | 9,4 | 268,5 | 8,9 | 147,0 | 4,9 | 117,9 | 3,9 | |
| Dunas e Remanescentes | 2.228,3 | 74,0 | 2.037,7 | 67,7 | 1.037,3 | 34,4 | 918,8 | 30,5 | |
| Rio Pitimbú | 49,1 | 1,6 | 49,1 | 1,6 | 40,6 | 1,3 | 29,5 | 1,0 | |
| APP do Rio Pitimbu | 93,5 | 3,1 | 93,5 | 3,1 | 92,0 | 3,1 | 90,6 | 3,0 | |
| Área de estudo | 3012,0 | 100 | 3012,0 | 100 | 3012,0 | 100 | 3012,0 | 100 | |

Na análise da evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo entre os anos 1969 e 2013, percebe-se que a ocupação urbana avançou consideravelmente sobre as áreas naturais presentes na área de estudo, implicando diretamente na diminuição das áreas ocupadas pelas mesmas, principalmente das lagoas e suas APP's, além das dunas e remanescentes (Figura 3). Em 1969, essas áreas estavam praticamente inalteradas, já em 1979 passaram a sofrer uma relativa interferência em decorrência da ocupação urbana, logo a partir de 2006 sofreram uma redução substancial de suas áreas devido à consolidação do avanço do crescimento urbano e em 2013 houve menos alteração em relação a 2006, com exceção do Rio Pitimbu e sua APP.

Por outro lado, o período mais significativo de redução das áreas naturais foi o de 1979-2006, quando houve redução de ordem de 67 % das lagoas e 45 % de suas APP's.

A partir da década de 1970, na cidade do Natal, aumentaram expressivamente as áreas de ocupação urbana no entorno e mesmo sobre as lagoas, para dar lugar a construções, provocando a transferência da drenagem natural para redes de galerias, fato que modificou o regime hídrico (Medeiros, 2001). Além disso, houve redução da área de mata ciliar, sendo mais significativa para a área de estudo a partir do final desta década. Em consequência disso, algumas lagoas na área de estudo desapareceram, como a Lagoa Nova, embora, por vezes, estas lagoas aflorem em períodos chuvosos causando alagamentos, pois são depressões fechadas para onde as águas pluviais se direcionam como resultado das impermeabilizações discutidas inicialmente.

Em termos de quantidade em hectares, as dunas e remanescentes foram as que mais sofreram redução, cerca de 1.310 ha, aproximadamente 60 % da sua área inicial de 2.228,3 ha em 44 anos, devido à ocupação urbana. Entre 1969 e 1979, reduziu cerca de 9 % para dar lugar a construções, como conjuntos habitacionais nos bairros Candelária (totalmente sobre as dunas), Neópolis, Cidade Nova e Felipe Camarão. Já em 2006 houve diminuição de cerca de 50 % com o avanço do crescimento urbano para todos os sentidos da área de estudo, porém as áreas que ainda contém uma concentração razoável em 2013 estão inseridas nas ZPA's, além de alguns remanescentes de dunas no bairro Pitimbu e Cidade Nova.

O Rio Pitimbu e sua APP se mantiveram inalterados praticamente até 2006, passando a ter uma redução mais significativa a partir deste ano até 2013, de 26,3 % e 1,5 %, respectivamente, quando comparado ao período de 1969 a 2006, que foi de -18,6 % e -1,6 %, ou seja, em 37 anos houve uma menor variação de área do que em 7 anos. Isto pode ser justificado tanto pela presença de casas e estradas devido ao desenvolvimento tardio do bairro Pitimbu, que também provocam uma redução de área de mata ciliar; como também pela construção do prolongamento da Avenida Prudente de Moraes finalizada em 2010 (uma das obras para a Copa do Mundo de 2014 no RN), que corta a ZPA 03 em direção ao município de Parnamirim (com o objetivo de facilitar o acesso ao aeroporto

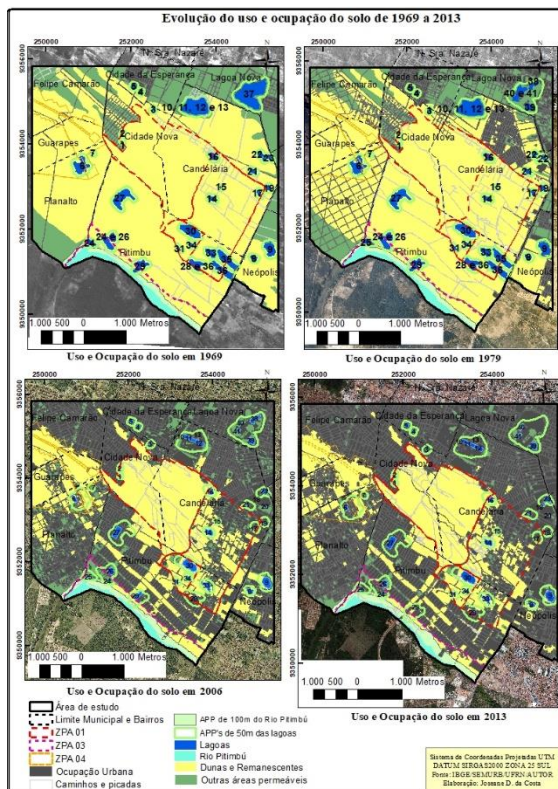


Figura 03. Uso e ocupação do solo de 1969 a 2013 da área de estudo, destacando o Rio Pitimbu, as lagoas e suas APP's da margem superior.

Para complementar a quantificação da evolução espaço-temporal das áreas naturais, foi calculada a diferença em hectares e a variação em porcentagem entre os períodos estudados. Assim, cerca de 60 % das APP's das lagoas diminuíram em 44 anos, conseqüentemente as próprias lagoas também sofreram redução de aproximadamente 76 % da sua área, equivalendo a uma perda de 107 ha.

internacional Augusto Severo). O projeto inicial desta avenida previu-se uma ponte sobre o Rio Pitimbu, que para tal, dos aproximadamente 100 m de largura da planície fluvial do Rio, 60 m foram aterrados e restaram 40 m para a livre passagem das suas águas, e isso acarretou alguns impactos ambientais para a área, como o estreitamento do rio em foco (Natal, 2010), além da perda de dunas por ocupação da via que também cortou a ZPA 01.

Análise da Malha Hídrica

A malha hídrica na área de estudo é composta pelo Rio Pitimbu e lagoas naturais e artificiais, classificadas em intermitentes e perenes.

A área das lagoas foi calculada com base nas suas margens, por meio da fotointerpretação. Este mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo da área do Rio Pitimbu.

Foram encontradas no total 41 lagoas, sendo 5 naturais desaparecidas ao longo do tempo, sendo elas: Natal Shopping, Depressão I e II, Lagoa Nova e Lagoa Nova II, 17 artificiais e 19 naturais. A maioria é representada por pequenas depressões com área média de 0,9 ha. Em termos de área, destacou-se a Lagoa Nova com quase 30 ha, porém desaparecida. Das lagoas ainda existentes, a San Vale RD 04 (natural intermitente e de drenagem) e a do Makro (natural e perene) são as maiores, com mais de 5 e 3 ha, respectivamente.

Com relação à localização das lagoas, verificou-se que a maior parte delas se encontra na Zona Sul, nos bairros Pitimbu e Candelária, mais conhecida como região do San Vale, composta por campos de dunas (onde o lençol freático por vezes ascende em área de depressões), o que contribui para o surgimento de lagoas interdunares, tendo estas um papel importantíssimo no contexto hidrogeológico da cidade. Enquanto a zona oeste é onde menos elas são observadas, principalmente no bairro Cidade da Esperança, possivelmente isto ocorre porque a região é menos acidentada e, portanto, tem menor presença de dunas.

As lagoas naturais apresentaram cotas altimétricas de 23 a 47 metros, que segundo Medeiros (2001) são caracterizadas como interdunares, com formas alongadas e semicirculares, controladas pela direção das dunas e dos ventos. A maioria das lagoas artificiais foi originada das naturais, onde suas depressões foram aproveitadas e alteradas para

suportar a drenagem da região, em decorrência do aumento da impermeabilização do solo. Já, as que não são de origem natural e sim construídas (escavadas) são: Carrefour II e Caiapós II.

Para a realização da análise da APP das Lagoas das regiões administrativas Sul e Oeste inseridas na área de estudo, foi inicialmente definida uma faixa de 50 metros da sua maior margem (APP, que foi da margem do ano de 1978, conferida pelo MDT) baseada no Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental (Brasil, 2000), além do Plano Diretor da Cidade (Natal, 2009), como a área de influência impactante direta de análise representada anteriormente. Posteriormente, realizou-se uma seleção de 16 lagoas para verificação *in loco*, tendo como critérios: características de intermitência ou perenidade, dimensão, complexidade, localização e quantidade por bairro.

Análise das Dunas e Remanescentes

Neste tópico foram estudados os elementos contínuos e elevados (dunas), bem como os fragmentos isolados de dunas, definidas como remanescentes, e que ainda mantêm as suas formas naturais, de acordo com imagens e o MDT. Foi considerada como uma única classe na vetorização para facilitar a análise. Conforme os dados quantitativos e percentuais, houve uma perda de aproximadamente 60 % dessas feições, cerca de 1310 ha, devido à ocupação urbana.

Além disso, foram escolhidos pontos relevantes para verificação *in loco*, que contivesse uma alta concentração dessas feições: a ZPA 01 e um remanescente de duna localizado próximo ao braço direito desta ZPA (considerável em termos de área e que mantêm as suas formas naturais até certo ponto).

A ZPA 01 é situada em uma área de dunas e tabuleiros costeiros relativamente protegidos por se tratar de uma Zona de Proteção Ambiental. Tem área de 738,87 hectares e está inserida na bacia de drenagem San Vale no Conjunto Satélite. Tem um papel importantíssimo no contexto hidrogeológico da cidade, visto ser esta uma das últimas áreas de recarga do aquífero Dunas/Barreiras ainda não adensada, por isso foi criada a Unidade de Conservação da Natureza da categoria de Proteção Integral, através do Decreto Municipal Nº 8.078, de 13 de dezembro de 2006 e

ampliado pelo Decreto Nº 8.608 de 11 de dezembro de 2008.

O Parque Municipal Dom Nivaldo Monte, popularmente conhecido como Parque da Cidade, ocupa uma área de 136 hectares que abrange os bairros Pitimbu, Candelária e Cidade Nova. Mesmo cercado de todos os cuidados, o Parque ainda sofre com interferências humanas contra sua regulamentação.

Acerca dos impactos ambientais diagnosticados nos limites da ZPA 01, eles constituem de ocupações irregulares em suas bordas, que equivaleram em 2013 a cerca de 19 ha da Subzona de Preservação (SZ1-A), onde esta representa 350 ha aproximadamente da ZPA 01, além da deposição de lixo urbano e de resíduos da construção civil, adensamento populacional em áreas que não tem capacidade de suporte para tanta pressão, supressão de vegetação e lançamento de efluentes à céu aberto.

Já o remanescente de duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 localizava-se pelo acesso a Rua São Francisco, (X= 251826.00 m E; Y= 9355101.00 m S) e tinha uma altitude de aproximadamente 80 m entre 1978 e 2006 (obtida pelo perfil transversal dos MDT's), e em 2013 com 63 m (obtida pelo perfil de elevação transversal de imagem do Google Earth). Além disso, em 1969 a área era quantificada em 16 ha, sofrendo uma redução de 10 ha até 2013 conforme a Figura 4. Fruto possivelmente da pressão antrópica, como a presença de intensas ocupações, lixos em sua borda, o que favoreceu o deslizamento de seus sedimentos Além de ser caracterizado como móvel, também sofre pela ação do vento, facilitando mais ainda o fluxo de grãos. Dessa maneira, este remanescente acaba invadindo a rua, já que não há mais espaços.

Foi registrado também, um tipo de medida que a prefeitura adotou para alargamento da rua, por meio de um trator ao tirar o excesso de areia sobre a pista, porém isso não traz benefício ambiental algum, pois à medida que se tira, mais sedimentos deslizarão, fazendo com que a duna perca mais ainda altitude e conseqüentemente o seu desaparecimento ao longo dos anos.



Figura 04. Redução do Remanescente de Duna próximo ao braço longitudinal NW-SE da ZPA 01 de 1969 a 2013.

Identificação dos Impactos Ambientais

Nos últimos 44 anos, a cidade do Natal sofreu intensa ocupação urbana, o que deteriorou a maior parte das áreas naturais existentes. Com isso, foi destruído praticamente 60 % das dunas e remanescentes estudadas, considerada uma área com elevado potencial para captação, infiltração e armazenamento de água subterrânea, fazendo com que este elevado grau de degradação altere a dinâmica hídrica, além da contaminação e poluição do aquífero Dunas/Barreiras.

Além da redução de 76 % aproximadamente das áreas das lagoas, a maioria delas apresentou basicamente os mesmos problemas em decorrência da pressão antrópica, como a presença de resíduos sólidos e líquidos (lixos, entulhos e esgoto doméstico), sendo as conseqüências: assoreamento, perda da sua capacidade de infiltração e contaminação do lençol freático por Nitrato e Coliformes em alguns pontos (comprovados por dados de poços da CAERN em 2006). Tendo a Lagoa da ZPA 01 um destaque quanto a estas contaminações, devido essa área de estudo possuir uma maior concentração de fossas sépticas e sumidouros segundo os moradores. O

que facilita a lixiviação do íon amônio contido em dejetos, transformando-o em nitrato, onde a impermeabilização do solo favorece a concentração deste contaminante no efluente, acelerando mais ainda a destruição do aquífero (Amaral et al., 2005).

As APP's das lagoas foram praticamente ocupadas (impermeabilizadas cerca de 60 %) pela urbanização, porém as mais conservadas foram as da região do San Vale, que concentra os bairros Pitimbu e Candelária, mais especificamente as inseridas na ZPA 01, o que significa que houve certa atenção quanto a essas áreas pelas autoridades. Já a APP do Rio Pitimbu praticamente se manteve constante ao longo dos últimos 40 anos, considerada razoavelmente conservada.

As ZPA's 01, 03 e 04 onde estão inseridas as dunas, apresentaram como principais impactos a ocupação irregular, efluentes no solo, deposição de resíduos e queimadas.

Portanto, a ocorrência de inundações na cidade de Natal tem se intensificado e tornado mais frequente a cada ano, como também avaliado por Lima et al. (2019). Esse fato é consequência tanto da crescente impermeabilização do solo decorrente da urbanização acelerada, como da ocupação urbana das áreas de fundo de vale, sujeitas à inundação, sem a devida contrapartida de um controle efetivo na fonte dos escoamentos superficiais e de obras de macrodrenagem para a transposição dos excedentes das águas das sub-bacias fechadas, que predominam em grande número, dado o contexto do solo ondulado típico das formações de dunas da cidade de Natal.

Conclusões

As alterações temporais na disposição espacial das áreas impermeáveis, representadas pela ocupação urbana do solo, e das classes ambientais, identificadas pelas lagoas, Rio Pitimbu e suas APP's, bem como dunas e remanescentes, ilustrou bem a tendência de degradação ambiental na área de estudo. Essa degradação teve seu auge até o ano de 2006, quando se observou uma desaceleração neste processo, excetuando a ZPA 03, onde está o Rio Pitimbu e a sua APP, que experimentou uma perda mais significativa de área.

Em linhas gerais, verificou-se que a ocupação urbana avançou cerca de 60 % sobre os sistemas naturais estudados. A ocupação

urbana afetou a drenagem natural e contribuiu para a contaminação das águas subterrâneas de Natal, devido ao aumento da impermeabilização, o lançamento de resíduos líquidos e sólidos, bem como a retirada da mata ciliar. À medida que as superfícies naturais são impermeabilizadas, há uma redução na infiltração das águas pluviais, aumento do escoamento superficial e a ocorrência de inundações.

Apesar, de grandes áreas naturais de importância ambiental terem sido perdidas/destruídas, parte do que ficou ainda vem resistindo, embora sofrendo a pressão antrópica.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Amaral, R.F., Diniz Filho, J.B., Fonseca, V.P., 2005. Degradação Ambiental da Cidade do Natal: Aspectos Geomorfológicos e Hidrogeológicos. *Revista Estudo Geológicos* 5, 102-113.
- Andrade, J., Santiago, A.G., 2020. O zoneamento ecológico econômico costeiro e os desafios da gestão costeira integrada. *Revista Gestão e Planejamento* 21, 438-455. <https://dx.doi.org/10.21714/2178-8030gep.v.21.6575>.
- Araújo, V.M., Amaral, R.F., Moreira, F.F.M., 2002. Determinação de Parâmetros em uma Bacia Urbana utilizando Técnicas de Geoprocessamento. 7 p. 1º lugar. *In: GIS Brasil 2002 – 8º Show De Geotecnologias – 2ª Mostra do Talento Científico*.
- Brandani, G.B., 2018. Áreas de restrição à expansão urbana no município de Itabira – MG. *Cadernos do Leste* 18, 1-17. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/13602/10776>.
- Brasil, 2012. Leis. Novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651 de 25 de maio de 2012).
- Brasil, 2000. Leis. Zoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do RN (Lei Estadual N.º 7.871 de 20 de julho de 2000).
- Brito, A.G.M., Almeida, L.Q., Medeiros, M.D., Farias, J.F., 2019. Áreas de vulnerabilidade em Natal/RN, Brasil: análise da zona de proteção ambiental 9 (ZPA 9). *Caminhos de*

- Geografia 20, 433–453.
<https://doi.org/10.14393/RCG207246613>.
- Cavalcante, J.S.I., Aloufa, M.A.I., 2018. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil: uma análise qualitativa do plano nacional de gerenciamento costeiro. *Desenvolvimento Regional em debate* 8, 89-107.
<https://doi.org/10.24302/drd.v8i2.1815>.
- Costa, J.D., 2015. Evolução espaço-temporal da ocupação urbana sobre áreas naturais no município de Natal-RN. 96f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) – UFRN, Natal, RN.
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19694>.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2012a. ArcGis Desktop Help 10.1: Fundamentals of georeferencing a raster dataset – ArcMap 10.1.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2012b. ArcGis Desktop Help 10.1: Calculating area, length, and other geometric properties – ArcMap 10.1.
- Fernandes, L.R., Amaral, R.F., 2013. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13, 45-59.
<http://dx.doi.org/10.5894/rgci340>.
- Garcia, P.M.B., Augustin, C.H.R.R., Casagrande, P.B., 2020. Índice geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano. *Mercator* 19, e19003.
<https://doi.org/10.4215/rm2020.e19003>.
- IBGE, 2009. Manual Técnico de Geomorfologia. 2. ed. Manuais técnicos em Geociências, nº 5 - Rio de Janeiro: IBGE, 182p.
- IBGE, 2010. Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil. Censo Demográfico.
- Lima, C.C., Amaro, V.E., Araújo, P.V.N., Santos, A.L.S., 2019. Identificação e Avaliação de Zonas de Alagamentos Urbanos, com o Suporte de Geotecnologias, na Cidade de Natal, Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências* 42, 378-394.
https://doi.org/10.11137/2019_2_378_394.
- Lima, P.H.G., Almeida, L.Q., Belchior, A.C.C., Macedo, Y.M., 2020. Desastre socioambiental e ordenamento territorial no bairro Mãe Luíza, Natal – Rio Grande do Norte (RN), Brasil. *Territorium* 27, 37-49.
https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-14.
- Lisboa, C.M.C.A., Campos, U.M., Souza, S. K.S., 2011. Mapeamento e Caracterização dos Remanescentes de Dunas do Município De Natal – RN, Brasil. *REVSBAU* 6, 64-83.
<http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v6i3.66474>.
- Macedo, Y.M., 2018. Contribuições do Geoprocessamento para estudos de risco e vulnerabilidade socioambiental em Natal/RN, Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste* 4, 44-62.
<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregnet/article/view/15243/10041>.
- Marques, A.L., Barbosa, E.S., Ribeiro, J.K.N., Coelho, E.S., Barbosa, E.T.G., 2017. Paisagem urbana, vulnerabilidade e risco em brejos de altitude: o sítio urbano de Areia/PB. *Nature and Conservation* 10, 25-34.
<https://doi.org/10.6008/SPC2318-2881.2017.002.0003>.
- Marshall, N., 1976. Os múltiplos empregos da ambiência costeira. In: Vetter, R. (Org.). *Oceanografia: a última fronteira*. São Paulo: Editora Cultrix.
- Medeiros, M.D., Almeida, L.Q., 2015. Vulnerabilidade socioambiental no município de Natal, RN, BR. *REDE: Revista Eletrônica do PRODEMA* 9, 65-79.
<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/310>.
- Medeiros, M.D., Pereira, V.H.C., Almeida, L.Q., 2012. Áreas de vulnerabilidade ambiental na zona oeste de Natal/ RN/ Brasil. *Revista Geonorte* 1, 474-486.
<https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1849>.
- Medeiros, T.H.L., 2001. Evolução Geomorfológica, (Des)Caracterização e Formas de Uso das Lagoas da Cidade do Natal-RN. 100f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) – UFRN, Natal, RN.
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/18765>.
- Mello, K., Toppa, R.H., Abessa, D.M.S., Castro, M., 2013. Dinâmica da expansão urbana na zona costeira brasileira: o caso do município de São Vicente, São Paulo, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 4, 539-551.
<http://dx.doi.org/10.5894/rgci432>.
- Melo, J.G., 1995. Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal / RN. - Tese de Doutorado. - USP, São Paulo.

- Miranda, J.M.F., 1999. Evolução Urbana de Natal em 400 anos 1599-1999. Dados da Edição: Governo do Estado do Rio Grande do Norte, Prefeitura de Natal. Natal, 7, 157p. Coleção Natal 400 anos.
- Muehe, D., 2001. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 2, 35-44. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v2i1.6>.
- Natal, 2010. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. Subprojeto 2: Atualização e consolidação da legislação: PL22: Versões finais das ZPAs do Grupo 3 (ZPAs 3 e 4). Produto 9: Módulo Urbanístico 3. Natal: Modernatal, 166p.
- Natal, 2009. Lei Complementar nº 082, de 21 de junho de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor de Natal e dá outras providências. Instrumentos de Ordenamento Urbano: da Política Urbana. Natal, RN, 405-459.
- Natal, 1992. Lei nº 4.100 de 19 de junho de 1992. Dispõe sobre o Código de Meio Ambiente do Natal. 24p.
- Natal, 2003. Lei nº 8.426 de 14 de novembro de 2003. Dispõe sobre a Faixa de Proteção Ambiental do Rio Pitimbu e dá outras providências. Anexo 01 IDEMA.
- Nóbrega, M.M.S., Araújo, A.L.C., Santos, J.P., 2008. Avaliação das concentrações de nitrato nas águas minerais produzidas na região da grande Natal. *Holos* 3, 4-25. <https://doi.org/10.15628/holos.2008.221>.
- Nogueira, A.M.B., 1981. O cenozóico continental na região de Natal-RN. *Bol. do Dep. de Geologia da UFRN*, Natal, 15-24.
- Nicácio, J.E.M., 2001. A manutenção de mata ciliar: um ativo permanente. *Revista de Estudos Sociais* 6, 85-92.
- Nunes, H.K.B., Paula, J.E.A., Paula, M.L.G., 2020. Aspectos geoambientais e impactos socioambientais na área de expansão urbana da região sul de Teresina/Piauí. *Geoambiente On-Line* 37, 216-237. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.vi37.59288>.
- Righetto, A.M., Rocha, M.A., 2005. Exploração Sustentada do Aquífero Dunas / Barreiras na Cidade de Natal, RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10, 27-38. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n2.p27-38>.
- Rio Grande do Norte (Estado), 1996. Lei nº 6.950, de 20 de agosto de 1996. Dispõe sobre o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Natal-RN.
- SEMURB. Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo, 2007. Prefeitura Municipal de Natal. Conheça melhor seu bairro. Natal-RN.
- SEMURB, 2008. Natal: Zoneamento Ambiental. Natal, RN, 84p.
- SEMURB, 2010. Bairros de Natal. 2ª ed. Natal, 44p.
- SERHID/RN. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, 1998. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte. Natal/RN, 78 p.
- SETUR/SIN/IDEMA. Secretaria de Estado do Turismo do Rio Grande do Norte. Secretaria de Estado de Infraestrutura, 2006.
- PRODETUR/IDEMA. Polo Costa das Dunas. Brasília: Topocart Topografia, Engenharia e Aerolevantamentos Ltda. Arquivos em formato digital (vetorial e matricial). Escala 1:25.000.
- Silva, E.E.S., Almeida, L.Q., Medeiros, M.D., Macedo, Y.M., 2014. Mapeamento de risco geomorfológico na comunidade do Jacó - Rocas - Natal, RN. *Revista Geonorte* 10, 170-176.
- Silva, J.S., Farias-Filho, M.S., 2019. Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de São Luís (MA). *RAEGA* 46, 07-24. <http://dx.doi.org/10.5380/raega>.
- Tucci, C.E.M., 2004. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 1, 59-73. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v1n1.p59-73>.
- Vaeza, R.F., Oliveira Filho, P.C., Maia, A.G., Disperati, A.A., 2010. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Revista Floresta e Ambiente* 17, 23-29. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2011.003>.
- Vasconcelos, N.S., 2002. O avanço da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas da zona sul de Natal/RN. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geologia, UFRN, Natal, RN, 98p.