

# ANÁLISE DA OCUPAÇÃO E CRESCIMENTO URBANO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DA FORTALEZA ENTRE 1985 E 2015 UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES LANDSAT 5/TM E LANDSAT 8/ OLI

Izaias Coelho Teixeira <sup>1</sup>, Herondino dos Santos Filho <sup>2</sup>, Sávio Carmona <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade Federal do Amapá, Rod. Juscelino Kubitschek, km 02, caixa postal 261, 68902-280 – Macapá – Ap, Brasil, izaiasapeteixeira@hotmail.com; herondino7@yahoo.com.br; saviox@gmail.com

## RESUMO

A falta de planejamento urbano na maioria das cidades brasileiras desencadeia sérios problemas. Um exemplo disso é o avanço desenfreado da área urbana na bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza, pois ela comporta um dos nossos principais recursos naturais e abrange as duas principais cidades do Estado. Diante dessa perspectiva, o presente trabalho possui como objetivo mapear e quantificar o crescimento da área urbana na bacia do Igarapé da Fortaleza entre os anos de 1985 e 2015, que se encontra localizada no Estado do Amapá. Para essa análise foram utilizadas imagens de satélites Landsat TM5 e Landsat8/OLI com técnicas de geoprocessamento a partir de sistemas de informação geográfica, os quais foram determinantes para apresentação dos resultados. Verificou-se que durante os últimos 30 anos a área urbana avançou significativamente por toda bacia, passando de 14,48 km<sup>2</sup> em 1985 para 73,22 km<sup>2</sup> em 2015, um aumento de 8% para 38% neste período.

**Palavras-chave** — bacia hidrográfica, crescimento urbano, sensoriamento remoto, geoprocessamento.

## ABSTRACT

The lack of urban planning in most Brazilian cities triggers serious problems. An example of this is the unbridled advance of the urban area within the Igarapé River Basin from Fortaleza, as it comprises one of our main natural resources and covers the two main cities of the State. In view of this perspective, the present work aims to map and quantify the growth of the urban area in the Igarapé Basin of Fortaleza between 1985 and 2015, located in the State of Amapá. For this analysis images of Landsat TM5 and Landsat8/OLI satellites were used with geoprocessing techniques from geographic information systems, which were determinants for the presentation of the results. It has been verified that during the last 30 years the urban area has advanced significantly throughout, going from 14.48 km<sup>2</sup> in 1985 to 73.22 km<sup>2</sup> in 2015, an increase from 8% to 38% in this period.

**Key words** — hydrographic basin, urban growth, remote sensing, geoprocessing.

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de ocupação nas regiões brasileiras não tiveram uma atenção especial no que diz respeito ao planejamento urbano. Na maioria das cidades esse processo ocorreu de forma desordenada, em decorrência do êxodo rural, bem como da concentração no litoral e nas metrópoles.

De acordo com [1] esse processo acelerado de crescimento das cidades comumente não vem acompanhado de planejamento, trazendo problemas e forte pressão sobre áreas de interesse ambiental. O crescimento desordenado das cidades e a falta de planejamento urbano adequado, por parte do poder público, contribuem com a fragilidade das áreas de grande relevância ambiental. Exemplo disso são as bacias hidrográficas urbanas.

Neste estudo de caso foi analisada a bacia do Igarapé da Fortaleza, onde é perceptível o avanço desenfreado do crescimento urbano, pois esta concentra as duas cidades mais populosas do Estado do Amapá: Macapá e Santana, como mostra a Figura 1.

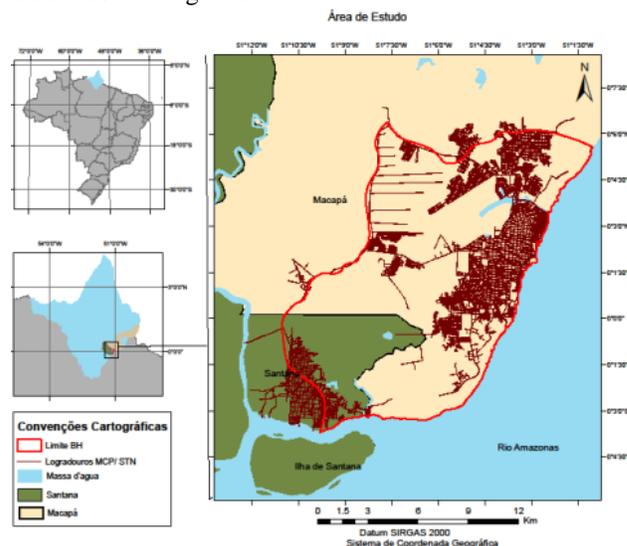


Figura 1. Limite da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Fortaleza

Esse crescimento oriundo de fatores socioeconômicos e culturais vem a cada dia sendo gradual e sem controle.

A importância de mapear o crescimento urbano nestas áreas, no aspecto estritamente científico, também permite a participação dialética da sociedade na gestão democrática de forma a tornar-se um instrumento de discussão e de monitoramento de preservação ambiental [2].

O objetivo principal deste trabalho foi mapear e quantificar o crescimento da área urbana na bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza entre os anos de 1985 e 2015. Desta maneira, buscou-se através do uso de imagens de satélites realizar uma análise multitemporal que contemplasse os anos em estudo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos delineados de forma organizada, foram orientados através das seguintes etapas: aquisição de dados, processamentos dos dados e estatística descritiva.

### 2.1. Aquisição de dados

A aquisição de dados, tais como: ortoimagens, shapefile para delimitação da área de estudo e imagens de satélites Landsat, foram adquiridos na Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Amapá - SEMA/AP, junto ao catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS.

Na realização da análise do avanço da área urbana dentro da bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza foi necessário a utilização do shapefile do limite da bacia que foi adquirido no site da SEMA/AP ([www.sema.ap.gov.br](http://www.sema.ap.gov.br)). Ademais, outro tipo de dado adquirido nesta secretaria foram as ortoimagens que compreendem os municípios de Macapá e Santana, estas que compõem a base cartográfica do Estado do Amapá, que serviu como verdades terrestres em uma das etapas do processamento de dados.

No catálogo de imagens do INPE foram escolhidas três imagens do satélite *Landsat TM5*, órbita-ponto 225/60 em datas distintas. A primeira é datada dia 10/06/1985, a segunda dia 26/09/1995 e a terceira imagem do dia 19/07/2005.

A quarta imagem foi do satélite *Landsat8/OLI*, órbita-ponto 225/60 adquirida no site da USGS, que foi selecionada para o dia 29/06/2015 com boa qualidade e com menor cobertura de nuvens.

### 2.2. Processamento de dados

Após a aquisição das imagens de satélites dos anos de 1985, 1995 e 2005 foi realizado a composição multiespectral das bandas 5(R), 4(G) e 3(B), já a imagem do ano de 2015 foram utilizadas as bandas 6(R), 5(G) e 4(B).

Na sequência foi adotados os procedimentos mostrados na Figura 2 para o seu processamento.

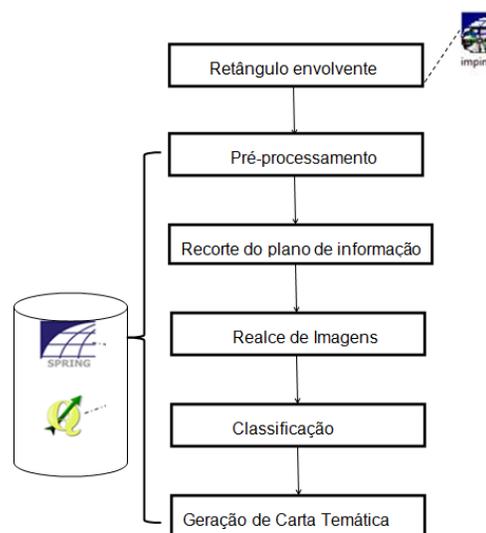


Figura 2. Fluxograma do processamento das imagens

Para diminuir o esforço computacional foi necessário criar um retângulo envolvente nas imagens de satélites entre os municípios de Macapá e Santana, onde abrange a bacia hidrográfica, fazendo um recorte e eliminando as áreas sem interesse para o trabalho. Esse procedimento foi feito no IMPIMA que é um módulo do Software SPRING 5.2.3.

O pré-processamento consiste no georreferenciamento de uma imagem tornando as coordenadas de um mapa conhecidas num dado sistema de referência. Este processo inicia-se com a obtenção das coordenadas (pertencentes ao sistema no qual se planeja georreferenciar) de pontos da imagem ou do mapa a serem georreferenciados, conhecidos como Pontos de Controle [3].

O recorte do plano de informação consistiu em recortar apenas a área limite da bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza e teve como base o shapefile do limite da área. Esse procedimento teve como intuito reduzir o esforço computacional para as etapas seguintes como: contraste e classificação.

A técnica de realce de imagens tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens [4] sob os critérios subjetivos do olho humano, facilitando a análise do interprete [5].

Para a classificação foi utilizado o *classificador pixel a pixel* que é um procedimento específico para a classificação de uma imagem digital, e esse tem como função utilizar apenas informações espectrais isoladamente de cada pixel para achar regiões semelhantes. O algoritmo classificador utilizado foi o da Distância Euclidiana.

Nesse classificador foram estipulados quatro temas/classes: área verde, área urbana, cerrado/solo exposto e água. Considerou-se como área verde a Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior). Assim como a

vegetação típica das áreas de ressacas como: aningal, buritis e outros.

No tema área urbana compreende áreas já consolidadas por edificações, bem como os sistemas viários. O cerrado/solo exposto corresponde áreas de vegetação rasteira (nesse caso para o cerrado) e áreas desprovidas de vegetação e construções (para o solo exposto). A água caracteriza-se pelos corpos d'água como as áreas de ressacas e outros.

### 2.3. Estatística descritiva

Para análise dos resultados foi utilizada a estatística descritiva. A fim de visualizar as relações entre as classes temáticas existentes nas diferentes cartas geradas e a sua perspectiva multitemporal, foram feitos diagramas de dispersão, e foi calculada a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson.

O Coeficiente de Pearson mede o grau de correlação e a direção dessa correlação. Este coeficiente varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo dos extremos, mais forte é a sua correlação [6].

Para ver o grau de correlação entre variáveis o cálculo de correlação linear é dado pela fórmula [7]:

$$r = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson, R<sup>2</sup>, é chamado de Coeficiente de Determinação e é usado como uma medida de correlação [8].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultados apresentados tem-se quatro cartas temáticas uma para cada ano, separados em um intervalo de 10 anos: 1985, 1995, 2005 e 2015, como mostra a Figura 3.

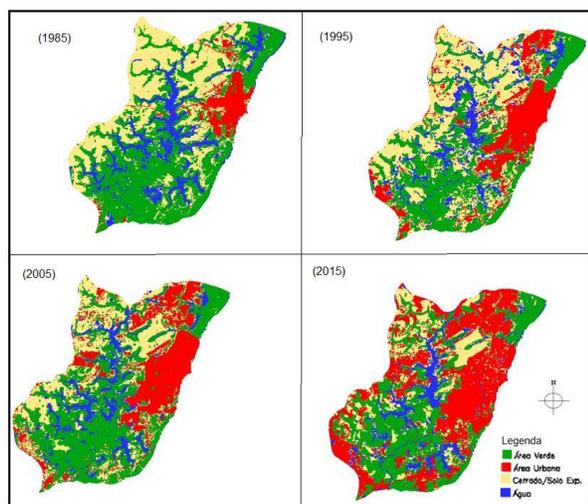


Figura 3. Imagens temáticas do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza dos anos 1985, 1995, 2005 e 2015.

No ano de 1985 percebeu-se um período menos urbanizado, concentrado na parte leste da bacia hidrográfica. Totalizando, neste período, para a área urbana o valor de 14,48 km<sup>2</sup>.

Para o ano de 1995 a área urbana teve dispersão por toda a bacia com uma área de 36,42 km<sup>2</sup> em relação a 1985. Manteve boa parte dessa área na região leste assim como pequenos avanços na parte norte e sul da bacia.

No ano de 2005 houve um aumento perceptível da área urbana dentro da bacia hidrográfica, isso é, entre um período de 20 anos. Esse tema apresentou uma área de 46,24 km<sup>2</sup> na referida data, assim como sua concentração na parte leste, estendendo-se bastante para a parte norte, sul e oeste da bacia.

Na carta temática do ano de 2015 é possível verificar um aumento significativo da área urbana na bacia. Nesse ano a área urbana era de 73,22 km<sup>2</sup> e é perceptível o avanço por todo o perímetro da bacia hidrográfica, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Quantificação das Classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza

Classes temáticas do Perímetro da Bacia Hidrográfica	1985		1995		2005		2015	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)						
Área Verde	87,42	46	65,88	34	79,75	42	65,39	34
Área Urbana	14,48	8	36,42	19	46,24	24	73,22	38
Cerrado/Solo exposto	63,51	33	66,42	35	44,86	23	33,51	18
Água	25,61	13	22,32	12	20,20	11	18,94	10
Total	191,02	100	191,04	100	191,05	100	191,07	100

Outros temas também foram analisados, a saber: Área Verde, Cerrado/Solo Exposto e Água. Quando estas classes foram comparadas através do coeficiente de determinação e do coeficiente de Pearson, apresentaram uma correlação inversa, como apresenta os gráficos representados na Figura 4.

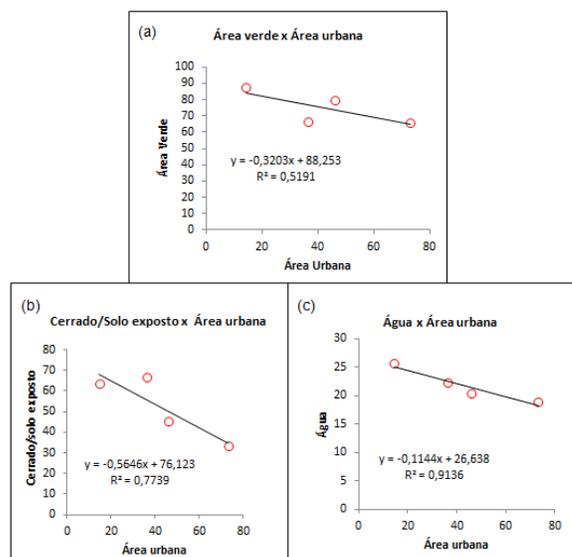


Figura 4. Correlação entre as classes naturais e a urbana entre o período de 1985 a 2015.

A primeira classe a ser comparada foi a classe da área verde com a área urbana (Figura 4a), mostrando a correlação entre a diminuição da área verde e o crescimento da área urbana dentro na bacia hidrográfica, entre os anos de 1985 e 2015, cujo coeficiente de determinação apresenta um valor de 0,5191, ou seja, nessa perspectiva o coeficiente de Pearson foi de 0,72 apresentando uma correlação já bastante significativa.

Para a correlação Cerrado/Solo Exposto e urbana (Figura 4b), essa correlação se apresentou mais forte ainda, pois seu coeficiente de determinação mostra que 77,39% da relação negativa da classe cerrado agregado a classe Solo Exposto é explicada pelo crescimento urbano, apresentando um coeficiente de Pearson no valor aproximado de 0,88 demonstrando forte correlação.

Já para a correlação entre as classes água e área urbana (Figura 4c), os resultados apresentam alta correlação pelo coeficiente de determinação, no valor de 0,9136. Esse valor mostra também que essa correlação inversa, comprova uma diminuição da classe água da bacia hidrográfica pelo crescimento da área urbana. O valor de Pearson para essa relação é de 0,96 o que confirma a correlação muito forte.

## 5. CONCLUSÕES

Durante as análises verificou-se que o avanço da mancha urbana na bacia hidrográfica do Igarapé da Fortaleza foi bastante significativa nos últimos trinta anos, isso em decorrência do crescimento populacional das duas principais cidades do Estado que se encontram dentro da bacia e que teve início nos anos de 1991 com a implantação da Área de Livre Comércio de Macapá e Santana e ainda sofrem grandes processos migratórios por se tratar de centros urbanos.

Este crescimento passou de 14,48 km<sup>2</sup> em 1985 para 73,22 km<sup>2</sup> em 2015, uma aumento de 8% para 38% nos últimos 30 anos.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] Barcellos, F. C.; Oliveira, S. M. M.C., "Novas Fontes de Dados sobre Riscos Ambientais e Vulnerabilidade Social", IBGE, Rio de Janeiro, p. 1-15, 2008.

[2] Santos Filho, H., "Mapeamento e Classificação das Áreas de Ressaca na Região Metropolitana de Macapá-ap Utilizando Imagens do Satélite CBERS-2B", Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática e Computacional, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação - DPPG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, Belo Horizonte, p. 111, 2011.

[3] Roque, C. G.; Oliveira, I. C. De; Figueiredo, P. P.; Brum, E. V. P.; Camargo, M. F., "Georreferenciamento", Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 4, n.1, p.87-102, 2006.

[4] Jähne, B., "Digital Image Processing: with CD-ROM / Bernd Jähne", Springer, Berlin, 251-253 p., 2002.

[5] Santos, A. R. D.; Peluzio, T. M. O. e Saito, N. S., "SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas / Alexandre Rosa dos Santos, Telma Machado de Oliveira Peluzio, Natália Suemi Saito", ed. Alegre: CAUFES, v. I, p.?, 2010.

[6] Brito, J. L. N. S. e Coelho Filho, L. C. T., "Fotogrametria Digital", EDUERJ, Vol.1, Rio de Janeiro, 2007.

[7] Correa, S. M. B.B., "Probabilidade e Estatística", PUC-Minas Virtual, Belo Horizonte, p. 109, 2003.

[8] Currell, G. e Dowman, A., "Essential Mathematics and Statistics for Science", Wiley-Blackwell, Hoboken-NJ/USA, p.316, 2009.