

# Avaliação microclimática de Natal/RN através de técnicas de sensoriamento remoto: uma contribuição aos estudos do clima urbano

*Francicélio Mendonça da Silva<sup>1</sup>*

*Nivaldo Patricio da Costa Junior<sup>2</sup>*

*Zuleide Maria Carvalho Lima<sup>3</sup>*

## **Resumo**

O artigo tem como objetivo avaliar o clima urbano no município de Natal, estado do Rio Grande do Norte, aplicando técnicas de sensoriamento remoto denominada de Índice de Vulnerabilidade Climática para o Clima Urbano - IVCU. Nesse sentido, foram utilizados variáveis como Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI, Índice Normalizado de Diferença de Construção - NDBI e Albedo de superfície, através de imagens do satélite Landsat 7 ETM+ no software IDRISI Andes. O IVCU revelou que em áreas de Natal com vegetação significativa há pontos mais amenos em termos do conforto climático, em contrapartida, está inserido nas categorias regular e crítica para o índice, demonstrando um intenso processo de urbanização, contribuindo para a degradação do meio ambiente urbano.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Clima Urbano; Índice de Vulnerabilidade Climática.

## ***Evaluation of microclimate through remote sensing techniques: a contribution to the study of urban climate in Natal/RN***

## **Abstract**

The article aims to evaluate the urban climate in Natal, Rio Grande do Norte, applying remote sensing techniques called Climate Vulnerability Index for Urban Climate - IVCU. In this sense, were used as variables Index Normalized Difference Vegetation - NDVI, Normalized Difference Index Construction - NDBI and surface albedo through digital Landsat 7 ETM + in software IDRISI Andes. The IVCU revealed that in areas of significant vegetation with no points milder climate in terms of comfort, however, is inserted in regular and critical categories for the index, showing an intense urbanization process, contributing to the degradation of the urban environment.

**Key words:** Remote Sensing; Urban Climate; Index Vulnerability Climate.

---

<sup>1</sup> Geógrafo, Mestre em Geografia pela UFRN. Contato: celio\_ufrn@hotmail.com

<sup>2</sup> Geógrafo, Mestrando do PRODEMA na UFRN. Contato: nivaldopc@outlook.com

<sup>3</sup> Docente do curso de Especialização em Geoprocessamento e Cartografia Digital – DGE/UFRN

## Introdução

A evolução urbana é algo praticamente irreversível na história da humanidade. O passo fundamental para tanto foi a Revolução Industrial iniciada no século XVIII, o que originou ambientes citadinos já contendo ações impactantes em relação ao meio ambiente. Em um contexto de crescente degradação ambiental inerente ao espaço urbano, os estudos relativos ao clima urbano foram avançando utilizando-se das mais variadas técnicas.

A criação de um meio geográfico artificial, segundo Santos (1991), se desenvolve em um quadro onde as condições de vida são ultrajadas, com agravo à saúde física e mental das populações. A preocupação que se tem atualmente por parte de cientistas, gestores e sociedade diante das modificações introduzidas pelo processo de urbanização no ambiente precedente, é a criação de condições ambientais que não sejam prejudiciais à vida (MENDONÇA, 2009).

O ambiente urbano construído pela sociedade é responsável pela alteração do balanço de energia, que sofre mudanças em elementos climáticos como temperatura do ar, de superfície, albedo, velocidade de direção dos ventos, umidade relativa do ar. A cidade por conta de sua expansão em todas as direções tem como característica fundamental a retirada de áreas verdes para dar lugar ao espaço construído.

Alguns estudos desenvolvidos nas últimas décadas para Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, já consideram a expansão urbana evidente, como em Costa (2000) e seu estudo sobre a verticalização urbana; em Furtado (2005), relacionando o turismo à reconfiguração urbana. No que se refere aos estudos envolvendo o clima, Carvalho (2001) destaca a importância do Parque das Dunas perante a cidade. Já Mata (2000) analisou de forma multitemporal o comportamento das variáveis climáticas da década de 80 até os anos 2000, e Alves (2009) ao estudar o diagnóstico da qualidade das águas de chuvas.

Com o avanço científico e tecnológico, muitos estudos do ambiente urbano estão sendo pautados pela utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto - SR, com intuito de detectar anormalidades microclimáticas advindas da ocupação urbana não planejada. O Sensoriamento Remoto pode ser compreendido, basicamente, como o uso de plataformas à distância (no caso satélites) que estão em órbita a milhares de quilômetros da Terra para obter informações sobre alvos na superfície terrestre, e conseqüentemente, auxiliar na observação de fenômenos naturais e sociais para tomadas de decisão no planejamento territorial.

Nesse aspecto, o artigo tem como finalidade desenvolver uma metodologia de avaliação microclimática, utilizando técnicas de análise de imagens de satélite orbitais, denominada Índice de Vulnerabilidade para Clima Urbano - IVCU, compreendendo o município de Natal.

### Localização geográfica da área de estudo

A área de estudo é o município de Natal, localizado no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte, compreendendo uma altitude média de 30 metros e área territorial de 170 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,32% da superfície estadual (IBGE, 2010). Tem como limites Extremoz ao norte, Parnamirim ao sul, a oeste São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Parnamirim, e a leste o oceano Atlântico. Segundo o IBGE (2010), o município em questão apresenta uma população total de 803.739 habitantes, subdivididos em quatro zonas administrativas: Norte, Sul, Leste e Oeste, regulamentados pelo Plano Diretor.

**Figura 1 - Mapa de localização geográfica do município de Natal.**



Fonte: Nivaldo Patrício da Costa Júnior, 2013.

## Metodologia

### a) Calibração radiométrica

No que tange a calibração radiométrica, de acordo com Moreira e Galvínio (2007, p.107), “a radiância representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7”. Abaixo consta o quadro 1 de calibração para o sensor ETM+ do Landsat 7.

**Quadro 1 – Parâmetros do sensor, irradiância e espalhamento.**

Banda	Espalhamento + offset	Lmin	Lmax	E (watts.m <sup>2</sup> *µm)
1	44	-6,2	191,6	1969
2	34	-6,4	195,5	1840
3	32	-5	152,9	1551
4	15	-5,1	241,1	1044
5	27	-1	31,06	225,7
7	39	-0,35	10,8	82,07

Fonte: Moreira e Galvêncio, 2007.

De posse dos dados do quadro acima, a calibração radiométrica foi feita através do módulo “Radiance” do software Idrisi Andes, que faz a conversão de número digital - DN variando entre 0 a 255 para radiância.

#### **b) Reflectância espectral**

Para Allen et al. (2002), a refletância representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda, definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície terrestre e o fluxo de radiação solar global incidente.

Nesse sentido, a reflectância espectral foi obtida com base na radiância anteriormente feita. No módulo “ATMOSC - atmospheric correction” do software Idrisi foi utilizado o modelo de “Apparent reflectance model”, em seguida foram preenchidos os campos relacionadas ao dia, hora, mês e ano do imageamento dos alvos da superfície terrestre, e posteriormente, os campos de radiância foram preenchidos usando os valores Lmin e Lmax, descritos anteriormente no quadro 1.

#### **c) Temperatura de superfície**

A temperatura de superfície envolve uma calibração radiométrica específica para o canal termal, com isso os números digitais - DN em cinza são convertidos em radiância para então se chegar à temperatura de superfície em Kelvin para o sensor ETM+. De acordo com Chen et al. (2006), a operação para transformação de DN para radiância é a seguinte:

$$L_{\lambda_6} = (L_{MAX} - L_{MIN}) / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN}) * (QCAL - QCAL_{MIN}) + L_{MIN}$$

Onde,

$L_{\lambda_6}$  = Radiância

$L_{MAX}$  e  $L_{MIN}$  = 12.650 e 3.200 são as radiâncias este valor é específico para cada cena (7 Sete bandas);

$QCAL_{MAX}$  = DN máximo a ser processado (255);

$QCAL_{MIN}$  = DN mínimo a ser processado (1);

$QCAL$  = número digital (DN), mais precisamente o canal termal.

Após a operação se chega a seguinte equação para obter a temperatura de superfície propriamente dita, de acordo com Chen et al. (2006):

$$T_s = K_2 / (K_1 / L_{\lambda_6} + 1)$$

$K_2$  e  $K_1$  = 1282.1 e 666.09 são as constantes de calibração para a banda termal do Landsat 7 ETM+;

$L_{\lambda_6}$  = imagem de radiância.

#### **d) Índice Normalizado de Diferença de Vegetação – NDVI**

O Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI é muito utilizado na literatura relacionada ao sensoriamento remoto para detectar, sobretudo, áreas de vegetação. O NDVI varia entre -1 a 1, o valor positivo indica a presença de cobertura vegetal que tende a ser mais densa ao ter seu valor aproximado de 1, ao passo que valores abaixo de 0 indicam áreas desprovidas de cobertura vegetal. Para Rouse et al. (1974), inicialmente o NDVI foi desenvolvido utilizando a equação:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Onde o NIR da equação é o canal Infravermelho próximo (0.76 - 0.90  $\mu$ m) e o RED é o canal vermelho (0.63 - 0.69  $\mu$ m), que correspondem no satélite Landsat 7 às bandas 4 e 3 respectivamente.

#### **e) Índice Normalizado de Diferença de Construção - NDBI**

O Índice Normalizado de Diferença de Construção – NDBI foi desenvolvido por Zha et al. (2003) visando diferenciar automaticamente áreas urbanas e construídas. O índice NDBI é baseado no uso dos números digitais DN das bandas 4 (Infravermelho próximo) e 5 (Infravermelho médio) do sensor ETM+ do Landsat 7, o método também pode ser aplicado para as bandas do sensor TM, a diferença normalizada das duas bandas é dada pela seguinte equação:

$$\text{NDBI} = (\text{NIR} - \text{MidIR}) / (\text{MidIR} + \text{NIR}).$$

Onde,

NIR = Infravermelho Próximo,  
MidIR = Infravermelho Médio.

Segundo Jensen (2009, p. 399) o resultado “é uma imagem que contém somente pixels de áreas construídas e estéreis que apresentem valores positivos, ao passo que todas as outras classes de cobertura terrestre apresentam valores zero ou -254. Reportou-se que esta técnica apresentou uma precisão de 92%”.

#### **f) Albedo de superfície**

Para se obter o albedo de superfície, primeiramente o albedo planetário foi processado. Isso foi possível pela combinação linear das refletâncias monocromáticas, de acordo com Machado et al. (2009):

$$\alpha_P = 0,293p_1 + 0,274p_2 + 0,233p_3 + 0,157p_4 + 0,033p_5 + 0,011p_7.$$

Onde  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$ ,  $p_5$  e  $p_7$  são as refletâncias das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. O próximo passo foi o cálculo da transmissividade atmosférica, que segundo Allen et al. (2002) é feito pela seguinte equação:

$$\text{Tr} = 0,75 + 10^{-5} Z$$

Tr = transmissividade.

Z = altitude média com o valor de 70 metros de altitude da Estação Climatológica da UFRN.

O albedo de superfície então foi calculado:

$$\text{Albedo s.} = \alpha P - 0,03 / \text{Tr}$$

$\alpha P$  = imagem do Albedo planetário e 0,03 = valor recomendado por Bastiaanssen (2000);

$$\text{Tr} = \text{Tr} = 0,75 + 10^{-5} Z.$$

### **g) Índice de Vulnerabilidade do Clima Urbano - IVCU**

O índice foi concebido a partir do modelo de regressão linear múltipla aplicado à estimação das áreas com vulnerabilidade a desconforto climático, dado por:

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3,$$

Onde,

Y = Índice de Vulnerabilidade Climática para o Clima Urbano - IVCU,

$a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  são os coeficientes angulares,

$X_1$  = Índice Normalizado de Diferença de Construção - NDBI,

$X_2$  = Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI,

$X_3$  = Albedo de superfície.

### **h) Probabilística**

A probabilidade de ocorrência das classes foi avaliada segundo a distribuição de frequência. Segundo Assis e Pereira (1996), se  $f$  é a frequência de um certo evento,  $E$  e  $N$  o número total de eventos, a frequência relativa é uma estimativa,  $p(E)$ , da probabilidade daquele evento e pode ser expressa por uma fração ou em termos de percentagem. Naturalmente,  $0 \leq p(E) \leq 1$ , isto é,  $p(E)$  situa-se sempre entre 0 e 1 ou entre 0 e 100%”.

### **i) Estatística descritiva**

Fez-se necessário a utilização da estatística descritiva em todo o processo, sendo esta representada tanto por medidas de tendência central (média, moda e mediana), separatriz, bem como por medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação).

### **Procedimentos operacionais e instrumento de apoio**

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa inicialmente foram pautados por uma revisão bibliográfica acerca da temática proposta que envolve o clima

urbano, com isto pretendia-se obter subsídios para a discussão teórica, conceitual e metodológico, tendo como base o método sistêmico na perspectiva integrada, permitindo o entendimento dos fatores naturais climáticos e antrópicos na ocupação do solo urbano. Diante disso, foram realizados os diversos tipos de leituras, tais como teses, dissertações e artigos científicos acerca da área em questão. Posteriormente foi feito um levantamento de imagens orbitais que servissem ao propósito da pesquisa.

Em seguida, empregamos a técnica de geoprocessamento através do programa Idrisi na versão Andes, com o propósito de analisar o Índice de Vulnerabilidade Climática e a ocupação do solo urbano. Por meio disso, a utilização de imagens orbitais de satélite da Landsat 7 ETM+ das bandas 1 a 7, na órbita/ponto 214/64, com a resolução espacial de 30 metros e as datas diferenciadas de passagem do satélite, já georreferenciada e ortofotorretificada em formato Geotiff. A mesma foi adquirida no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE para o ano de 2001, mês 08 (agosto) e dia 04.

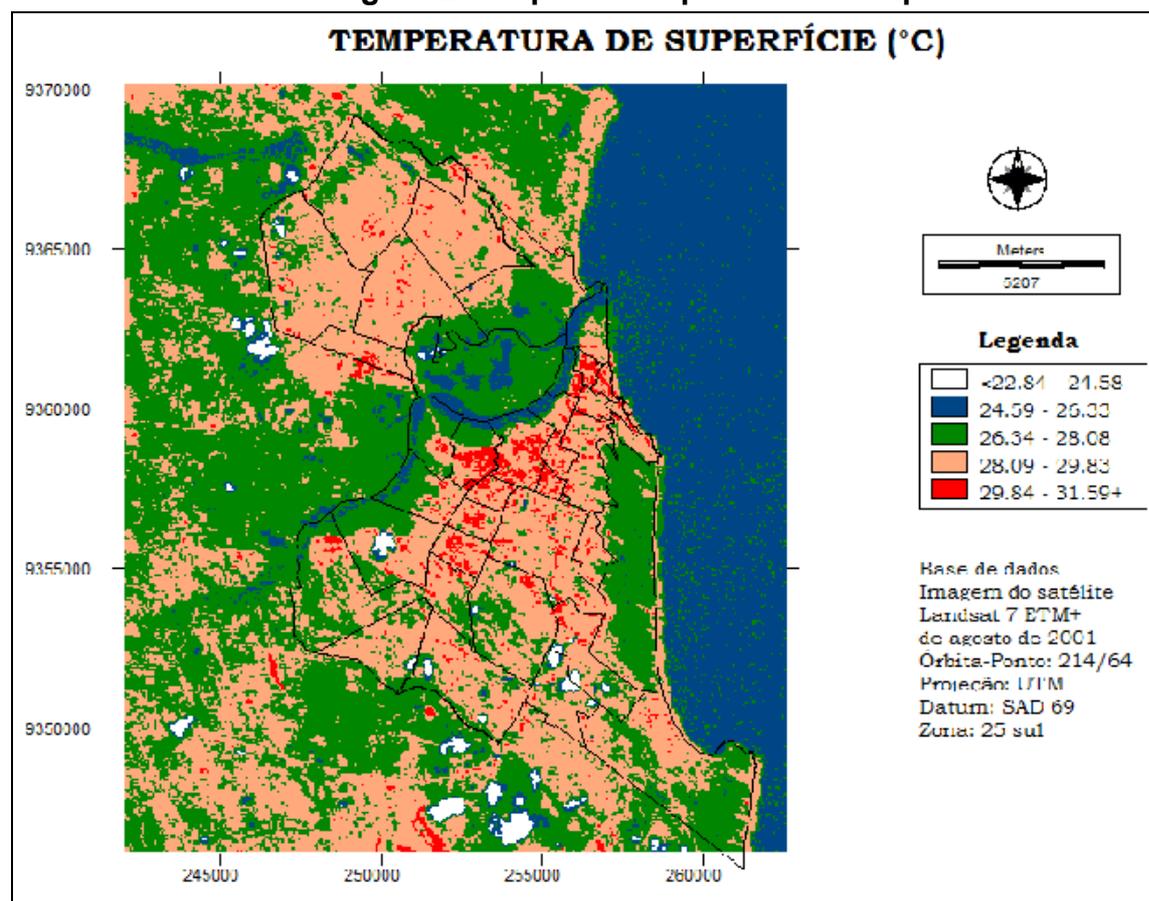
Portanto, as imagens Landsat 7 ETM+ foram processadas no programa do Idrisi versão Andes, efetuando as composições das bandas e o recorte espacial (no caso o perímetro urbano de Natal). Ainda nesta etapa foi efetuada a conversão do sistema de projeção de WGS - 1984 para UTM Datum SAD-69 Zona 25 Sul, dando continuidade aos processos na criação do índice de Vulnerabilidade Climática para o Clima Urbano - IVCU, no objetivo de obter as informações das áreas urbanizadas em relação a ocupação do solo urbano para melhor identificação da expansão urbana no município de Natal.

### **Avaliação do índice de vulnerabilidade para clima urbano - ivcu**

#### **a) Mapa de temperatura de superfície (°c)**

O mapa de temperatura de superfície (Figura 2) foi elaborado tendo por base a definição de cinco classes, medidas em graus Celsius. A adoção dessas classes ocorre em razão de que com cinco intervalos as informações contidas no mapa seriam de melhor identificação, interpretação e análise espacial. O resultado pode ser observado nos seguintes mapas gerados.

Figura 2 - Mapa de temperatura de superfície.



Através disso, verificou-se a variação já esperada de temperatura na cidade, com amplitude térmica de até 6°C (da comparação do Parque das Dunas em relação aos demais pontos). A análise dos dados permite afirmar que temperaturas acima de 29,84°C, a classe mais alta (em vermelho), configuram ilhas de calor. De um modo geral todos os setores da cidade possuem áreas em vermelho, mas com certa concentração em determinados pontos, como nos bairros das Quintas, Ribeira, Cidade Alta, Tirol e Alecrim, o que nos levar a crer em ocupação do solo muito intenso em tais bairros. Por outro lado, percebe-se ainda uma notável diferença visual destes bairros citados anteriormente em relação a Zona Norte de Natal. Essa zona administrativa apresenta-se ainda com poucas áreas com microclimas de temperaturas elevadas, predominando a classe compreendida entre o intervalo 28° - 29,9°C.

Dessa maneira, a classe representada no mapa de cor branca não deve ser levada em consideração, pois trata-se de disponibilidade de nuvens na imagem processada. As áreas em azul devem ser interpretadas como corpo d'água costeiros (sistema estuarino, ambiente praias, baías e enseadas) e continentais (açudes, lagoas, reservatórios artificiais, represas e rios). Identifica-se que essas áreas estão em crescente expansão

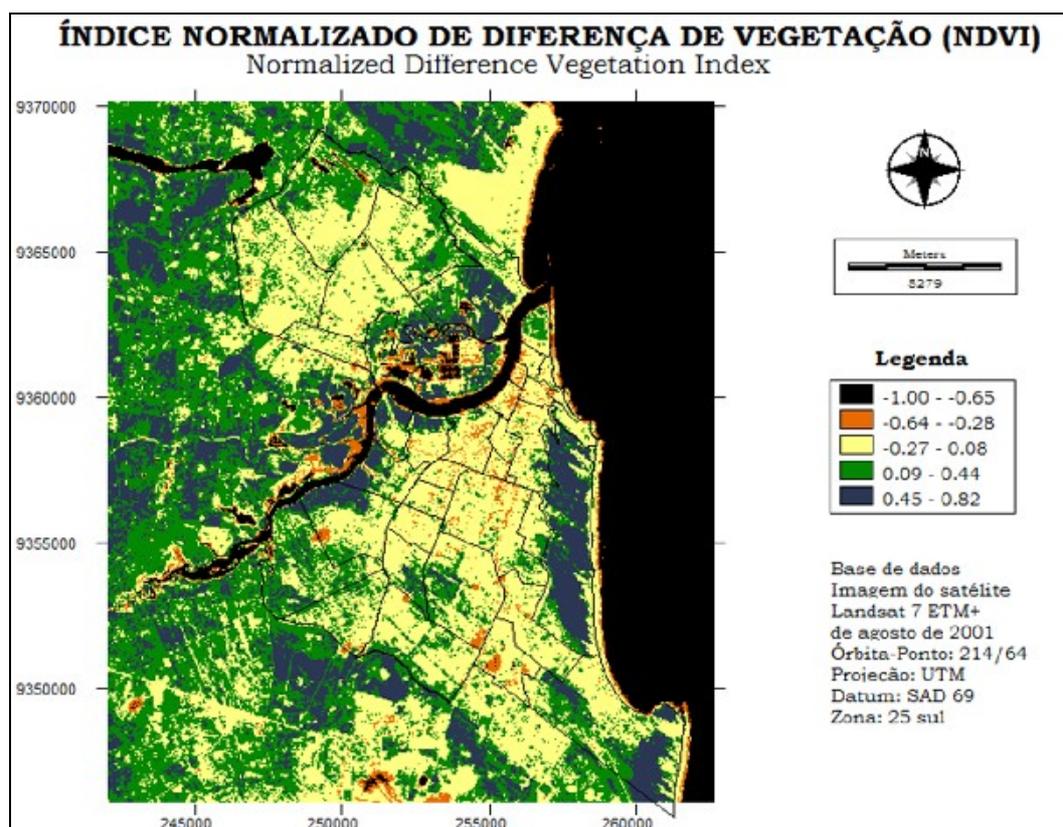
urbana, o que sugere um alerta para o planejamento urbano, uma vez que a tendência é o crescimento urbanístico do município na outra margem do rio Potengi.

De um modo geral a análise da temperatura de superfície do mapa térmico gerado permite inferir que a concentração de microclimas de temperatura elevadas em áreas onde a urbanização está muito consolidada em bairros centrais e da Zona Leste (29.84 a 31.59+ °C), ao passo que grande parte da Zona Norte e Sul da capital ainda estão em situação menos alarmante, pois estão na classe 28.09 a 29.83°C.

### b) Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI

O Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI (Figura 3) é um excelente indicador ambiental para visualização da vegetação e suas características. Inúmeros são os benefícios de se manter áreas vegetadas nas cidades. Em ambientes construídos (espaços intraurbanos) as áreas de cobertura vegetal constituem um importante indicador de sustentabilidade ambiental, pois garantem áreas permeáveis, reduzem a poluição atmosférica, contribuem para a regularização do microclima urbano, aumentam a circulação do ar, retêm até 70% da poeira em suspensão e, se bem projetadas, constituem espaços de lazer (PARANAGUÁ et al. 2003).

**Figura 3 - Mapa de Índice Normalizado de Diferença de Vegetação - NDVI**



Fonte: Nivaldo Patrício da Costa Júnior, 2013.

### c) Índice Normalizado de Diferença de Construção – NDBI

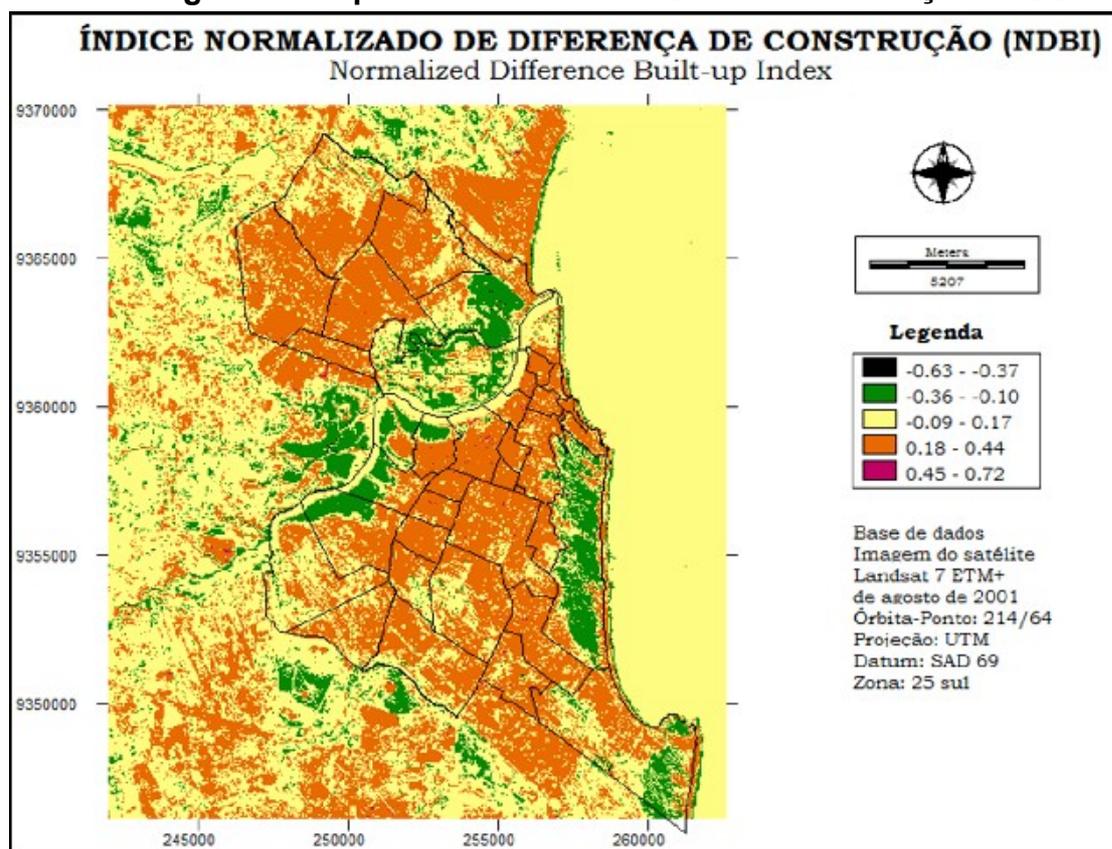
O uso do NDBI através do sensoriamento remoto é dado pela manipulação das bandas 5 e 4 do satélite Landsat 7 ETM+, o que possibilita um nível de precisão de 92% em sua aplicação, de acordo com Jensen (2009). Após a operação envolvendo essas bandas citadas, as superfícies construídas e modificadas ficam evidenciadas na imagem gerada após o processamento (Figura 4).

De acordo com o mapa gerado pode-se tecer algumas afirmações que reforçam o caminho para se chegar aos resultados deste artigo. Lembrando que, de acordo com a metodologia de Zha et al. (2003), o NDBI varia entre -1 a 1, valores abaixo de zero indicam áreas com cobertura vegetal na superfície e áreas com valores acima de 0 tendem a ser urbanizadas.

O mapa de Índice Normalizado de Construção - NDBI (Figura 4) mostra as classes geradas, onde três estão compreendidas em feições naturais presentes em Natal, tais como o Parque das Dunas, Parque da Cidade Dom Nivaldo Monte, ZPA-9 (Salinas), ZPA-5 (Lagoinha) e áreas em seu entorno, e o intervalo de classes para elas está entre (-0,63 - -0,37) preto, (-0,36 - -0,10) verde vegetação densa, e (-0,09 - 0,17) amarelo. A ocorrência da cor preta no mapa é muito escassa, presente no ambiente de manguezal.

As feições geomorfológicas de dunas são abundantes no litoral, como Genipabu, e no NDBI tem uma resposta espectral que se assemelha ao construído, por isso a sua cor no mapa (laranja) está correspondendo àquela do urbano. Nota-se que grande parte do mapa que envolve o município de Natal está representada pela cor laranja (0,18- 0,44), o que significa grande adensamento urbano, gerando uma série de impactos de ordem climática que estão sendo discutidos no decorrer deste artigo. Por último, temos a classe correspondente ao intervalo (0,45-0,72) na cor vinho, esta classe é restrita a alguns locais, portanto, escassa, e representa o mais alto nível de urbanização encontrado pelo processamento para a área de estudo.

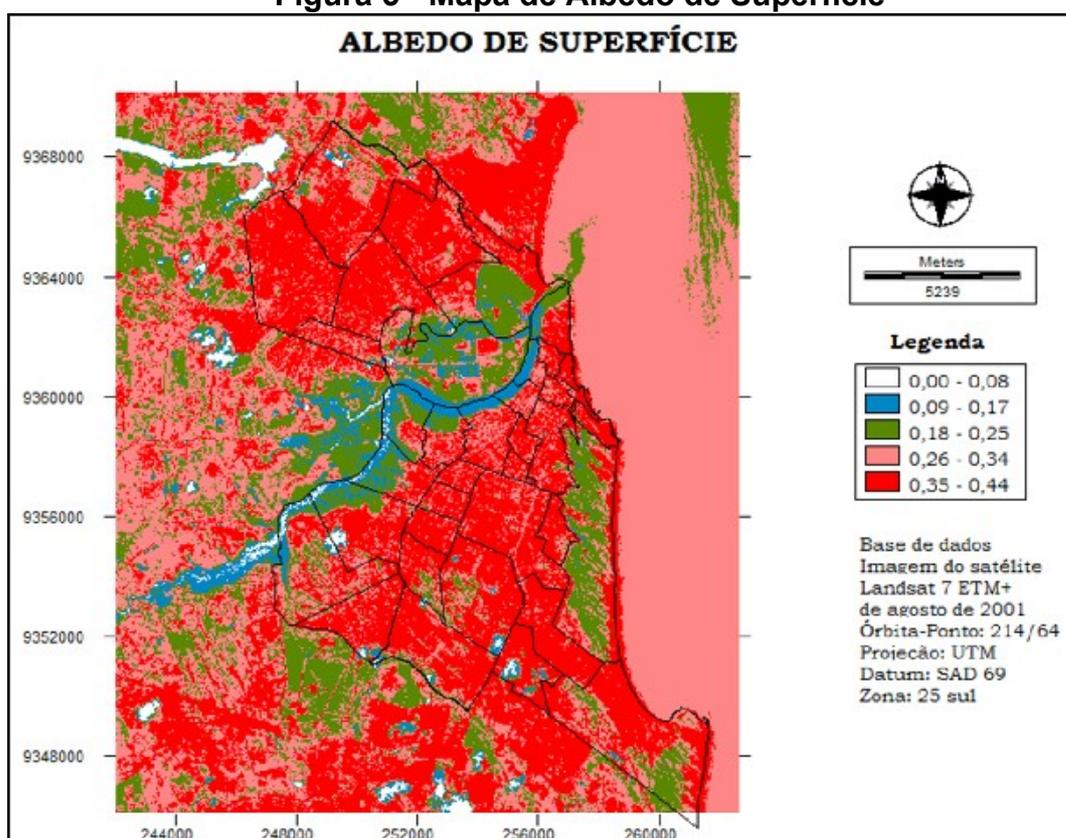
**Figura 4 - Mapa de Índice Normalizado de Construção - NDBI**



#### **d) Albedo de superfície**

O albedo é comumente dado em porcentagem, que se caracteriza pela capacidade que os corpos apresentam de refletirem a radiação solar que sobre eles incide, conforme descrito na figura 5. O albedo varia de acordo com a cor e constituição que o corpo apresenta (MENDONÇA; OLIVEIRA, 2007). Conforme Romero (1988, p.24), “a radiação solar pode ser refletida e absorvida pelas superfícies opacas nas quais incide, sendo o fluxo incidente igual à soma dos fluxos absorvidos e refletidos”. O albedo em Natal tende a ser alto, uma vez que a radiação solar a qual a cidade é submetida é grande. De acordo com Silva et al. (2008), a maior parte dos meses do ano a radiação ultravioleta incidente ultrapassa o nível 10, o que é considerado de risco muito alto.

Figura 5 - Mapa de Albedo de Superfície



Fonte: Nivaldo Patrício da Costa Júnior, 2013.

Esse aumento está relacionado aos materiais empregados na construção das cidades, onde a vegetação desempenha apenas um papel atenuador da radiação solar incidente. O albedo varia entre 0 a 1%, quanto mais próximo de 1 maior será a reflexão da superfície. O mapa gerado anteriormente, relacionando ao albedo, pode nos dar algumas informações sobre a vegetação: em verde (0,18-0,25%) apresenta um albedo muito baixo em relação ao construído, em vermelho (0,35-0,44%) o urbanizado. A água do mar tem um poder de reflexão maior na cor salmão e também certas regiões dentro da cidade (0,26-0,34%), enquanto que a água de rio e nuvens apresentam menor branco (0,00 - 0,08%) e azul (0,09 - 0,17%). O aumento do albedo em meio ao urbano acarreta em consequências negativas, aumentando a temperatura local e a sensação térmica.

#### e) Índice de Vulnerabilidade para o Clima Urbano – IVCU

A proposta para avaliação do clima urbano é baseada na elaboração de um índice que envolve tratamento estatístico. Sua concepção envolveu técnicas de regressão linear múltipla, aglutinando três variáveis: NDBI, NDVI e Albedo. A escolha envolvendo essas três variáveis se deu principalmente em função de evidenciarem áreas construídas, áreas

vegetadas e sensação térmica (albedo), constatou-se ainda forte correlação entre essas variáveis (direta e inversa). O tratamento estatístico levou o índice a variar entre -2 a 3 genericamente. Desta forma, o modelo IVCU proposto é dado por:

$$IVCU = (2 b5*b3 - 2b4^2)/(b5+b3+b4)*b4 + \text{mapa de Albedo}$$

Onde,

IVCU = Índice de Vulnerabilidade do Clima Urbano (adimensional),

b3 = canal vermelho (0.63 - 069  $\mu\text{m}$ ) - banda 3,

b4 = canal infravermelho próximo (0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$ ) - banda 4,

b5 = – canal infravermelho médio (1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$ ) - banda 5.

Mapa de Albedo = albedo de superfície (%) que no caso da pesquisa foi:

$$\alpha P - 0,03/0,75 + 2. 10^{-5} Z$$

O IVCU foi testado inicialmente apenas para o sensor ETM+. A interpretação nebulosa do IVCU foi elaborada a partir da estatística descritiva percentil, a divisão de classes do índice foi meramente estatística, dada pela Tabela 1:

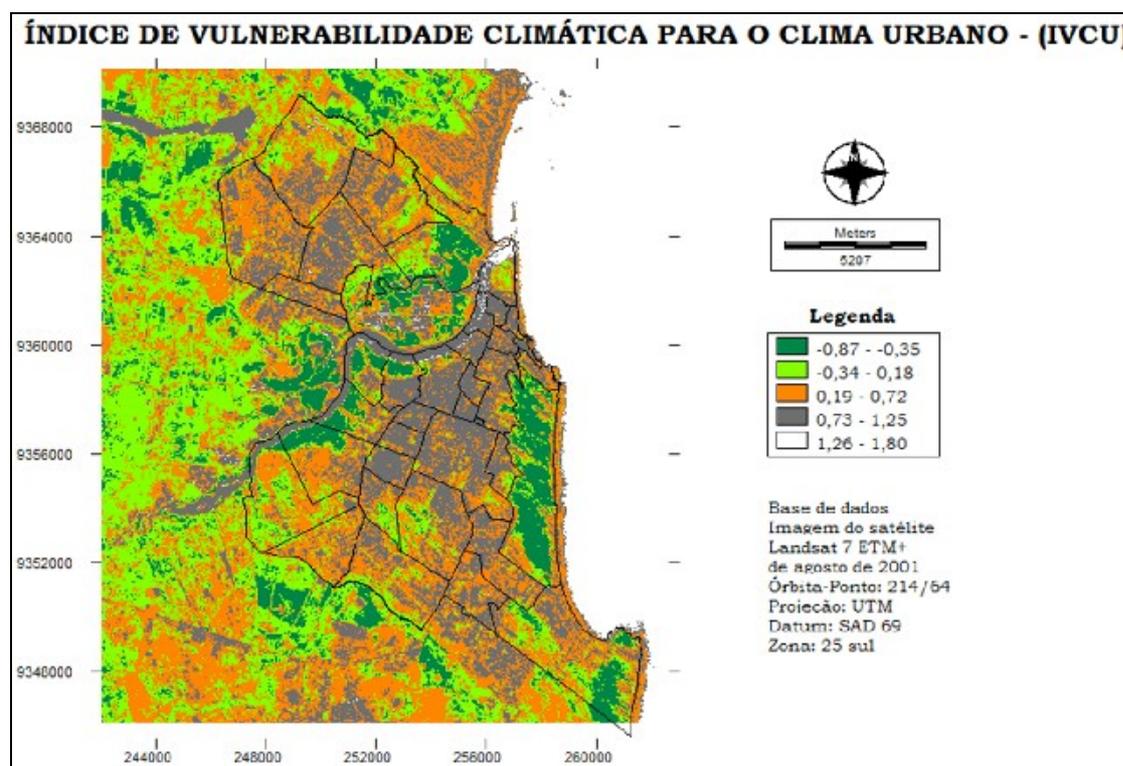
**Tabela 1: Classes do Índice de Vulnerabilidade do Clima Urbano - IVCU**

Percentil (%)	Varição	Categoria
20	-0,87 a -0,35	Muito bom
40	-0,34 a 0,18	Bom
60	0,19 a 0,72	Regular
80	0,73 a 1,25	Crítico
100	1,26 a 1,80	Água

Fonte: Francicélio Mendonça da Silva e Nivaldo Patrício da Costa Júnior, 2013.

Diante dessas constatações, o mapa gerado do IVCU (Figura 6) leva a inferir que grande parte da cidade de Natal está inserida na situação “Regular” e “Crítico”.

**Figura 6 - Mapa de Índice de Vulnerabilidade Climática para o Clima Urbano – IVCU**



Fonte: Nivaldo Patrício da Costa Júnior, 2013.

E para reforçar o argumento sobre microclimas amenos envolvendo a vegetação, os ecossistemas costeiros correspondentes aos parques, matas e manguezal estão na faixa de intervalo compreendida como “Muito Bom” e “Bom” (-0,87 a -0,35) e (-0,34 a 0,18). A maior parte da cidade está inserida nas classes “Regular” e “Crítico” (0,19 a 0,72) e (0,73 a 1,25). A última classe (1,26 – 1,80) deve ser desprezada, pois corresponde ao mar, onde o IVCU não se apresentou de forma satisfatória, portanto, merece maiores investigações.

Os resultados do IVCU devem servir de alerta para a população de Natal, que se encontra, em grande parte, enquadrada em condições climáticas cada vez mais ameaçadoras, principalmente pelo fato da cidade ser receptora de altos níveis de radiação solar, o que vem a agravar ainda mais a situação climática local. A repercussão será tanto econômica, como maior demanda de energia elétrica, até social, afetando a saúde dos habitantes naquelas doenças fortemente influenciadas pelo clima.

## Considerações finais

Diante do exposto, através da análise dos mapas gerados pode-se chegar ao apontamento de algumas afirmações e considerações. Assim, o Índice de Vulnerabilidade Climática para o Clima Urbano - IVCU mostrou que boa parte da cidade de Natal está enquadrada nas categorias “Regular” e “Crítico”, como exemplo, temos os bairros do Alecrim, Tirol, Quintas, Ribeira e Cidade Alta. Por sua vez, as áreas consideradas “Muito bom” e “Bom” correspondem justamente aos parques (Dunas e Dom Nivaldo Monte) e também áreas que apresentam significativa vegetação arbórea, tendo diferença de até 6°C em relação a áreas circunvizinhas.

Assim, o processo de urbanização de Natal está diretamente relacionado ao aparecimento de anomalias térmicas que podem afetar o conforto térmico e a qualidade de vida da população. Os efeitos citados tendem a se acentuar justamente onde o uso e ocupação do solo são mais intensos e consolidados na cidade.

Deste modo, as políticas públicas e o processo de urbanização da cidade enfrentam desafios pela frente. Fica patente que é necessária a adoção de medidas cumulativas de proteção ao meio ambiente já existente e de promoção de políticas de arborização, revitalização de praças e construção de novas. É reportado na literatura a contribuição da vegetação arbórea para atenuar os efeitos das ilhas de calor, e os benefícios indiretos proporcionados como redução no uso de energia elétrica, manutenção de pavimentos e diminuição de enchentes.

Uma maior preocupação nos Planos Diretores futuros em relação ao conforto térmico da cidade deve ser levado em consideração, isso incide na questão da localização dos edifícios, espaçamento entre eles, áreas que não devem ser muito adensáveis entre outras medidas necessárias numa cidade que é considerada 100% urbana.

A mudança é notada principalmente na Zona Sul da cidade, mais precisamente no bairro de Ponta Negra, considerado bairro nobre, e que nos últimos anos vem passando por um processo de alteração de sua paisagem ao dar lugar a prédios e empreendimentos de grande porte. Isso deve ser alvo de preocupação já que a instalação desses objetos no espaço geográfico natalense certamente irá acarretar em mudanças de ordem ambiental e social.

Ao pensar a cidade para o planejamento urbano, os gestores devem levar em consideração estudos científicos que envolvem o clima urbano, sempre pensando na

relação entre urbanização e microclima. O estudo do sensoriamento remoto aplicado ao ambiente urbano apresenta grandes avanços nas últimas décadas, essa técnica deve ser utilizada com muito mais frequência para subsidiar discussões acerca das ações impactantes no ambiente urbano.

## Referências

ALLEN, R.G; TASUMI, M; TEREZZA. R. Sebal Surface Energy Balance Algorithms for Land. **Advanced Training and User Manual**, version 1.0, p. 98, 2002.

ALVES, A. E. L. **Monitoramento da Qualidade das Águas de Chuvas Conforme a Atuação dos Sistemas Sinóticos na Cidade de Natal/RN**. Dissertação (Mestrado em Geografia). UFRN. Natal/RN, 2009.

ASSIS, F. N. et al. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e pratica**. Pelotas: Editora Universitária UFPEL, 1996.

CARVALHO, M. M. **Clima Urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). UFRN, Natal/RN, 2001.

COSTA, A. A. **A Verticalização e as Transformações do Espaço Urbano de Natal-RN**. Tese (Doutorado em Geografia). UFRJ. Rio de Janeiro, 2000.

CHEN, Xiao-Ling et al. **Remote Sensing Image-Based Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes**. *Remote Sensing of Environment*, n. 104, p.133-146, 2006.

FURTADO, E. M. **A onda do turismo na cidade do sol: a reconfiguração urbana de Natal**. Tese (Doutorado em Ciências Sociais). UFRN. Natal/RN, 2005.

IBGE. **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MATA, A. G. **O Clima de Natal**. Natal: Editora Foco, 2000.

MENDONÇA, F; OLIVEIRA; INÊS, M. D. **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F. **O estudo do Clima Urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios**. In: MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. (Orgs). *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: Editora Contexto, p.175-192, 2009.

MOREIRA, E. B. M; GALVÍNIO, J. D. Espacialização das Temperaturas à Superfície na Cidade do Recife, utilizando Imagens ETM – Landsat 7. In: **Revista de Geografia**. Recife: UFPE - DCG/NAPA, v.24, n. 3, 2007.

PARANAGUÁ, P. et al. **Belém Sustentável**. Belém: Imazon, 2003.

SANTOS, M. **Metamorfoses do Espaço Habitado**. São Paulo: Hucitec, 1991.

SILVA, F. R; OLIVEIRA; HUGO, S. M; MARINHO, G. S. Variação do índice de radiação solar ultravioleta em Natal-RN entre 2001 e 2007. **Anais** do Congresso Brasileiro de Energia Solar. Florianópolis: 2008.

ROUSE J.W; HAAS, R.H; SCHELL, J.A; DEERING, D.W. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

ZHA, Y.; GAO, J. NI, J. **Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery**, Int. J. Remote Sens, vol. 24, p. 583–594, 2003.

*Recebido em maio de 2014.*

*Publicado em junho de 2014.*