

# Avaliação da influência do efeito atmosférico na identificação do estado de conservação da cobertura vegetal intra-urbana em imagens de alta resolução espacial

Bárbara Maria Giacom Ribeiro <sup>1</sup>  
Tahisa Neitzel Kuck <sup>1</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca <sup>1</sup>  
Hermann Johann Heinrich Kux <sup>1</sup>  
Diógenes Salas Alves <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{barbara, tahisa, hermann}@dsr.inpe.br , {leila, dalves}@dpi.inpe.br

**Abstract.** Intra-urban vegetation plays an important role in the quality of life in the cities. Therefore, it is important that the intra-urban vegetation receive adequate maintenance in order not to become a vector for disease dissemination or illegal settlement. Remote sensing configures a potential tool to boost the process, especially with the actual developments of high-spatial-resolution sensors onboard satellites. Applying NDVI and ARVI on QuickBird images of dry and rainy periods of an urban area of São José dos Campos city (São Paulo state), it was possible to analyze if the intra-urban vegetation has received proper maintenance. Meanwhile, considering the hypothesis of vegetation indices' susceptibility to atmospheric effects, we was also tested the application of the same methodology on images which were previously converted to surface reflectance using the FLAASH software. The non-realization of atmospheric correction generated commission and omission errors concerning the class which indicates the conservation status of the targets of interest.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, vegetação intra-urbana, alta resolução espacial, correção atmosférica, Remote Sensing, intra-urban vegetation, high spatial resolution, atmospheric correction.

## 1. Introdução

A vegetação é um dos componentes da paisagem urbana, e seu estado de conservação pode ter implicações positivas ou negativas na qualidade de vida da população. Portanto, a manutenção da vegetação intra-urbana é fundamental para evitar a proliferação de doenças devido à disposição indevida de resíduos urbanos e ocupações ilegais. A fim de evitar tais problemas, faz-se necessário o monitoramento da cobertura vegetal intra-urbana pelo poder público, para que esta seja mantida em boas condições (Domingos, 2005).

O sensoriamento remoto orbital é uma ferramenta muito eficaz para esta finalidade, principalmente com a disponibilidade das imagens de alta-resolução espacial (Ceccato, 1994; Haala e Brenner, 1999), principalmente com a disponibilidade das imagens de alta-resolução espacial. Além disso, a repetitividade de aquisição de dados oferecida permite o acompanhamento das alterações na fisionomia da vegetação, através de seu comportamento espectral.

Considerando que a maior quantidade de irrigação pode significar o aumento da biomassa, pode-se associar o período de maior crescimento da vegetação ao período de maior precipitação (Jensen, 2007). Em caso de abandono ou descuido, a diferença na biomassa, ao se comparar imagens obtidas em épocas de chuva e seca, deve ser observada.

Domingos (2005) propõe uma metodologia para identificar o estado de conservação da vegetação intra-urbana, usando imagens de alta resolução em duas datas (Verão e Inverno). O autor usa técnicas simples como NDVI e IHS para identificar áreas de vegetação intra-urbana e seu estado de conservação, mas não se preocupa com a correção atmosférica das imagens.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do efeito atmosférico na questão de identificação do estado de conservação da vegetação intra-urbana usando imagens de alta resolução espacial. A análise dos resultados sugere que a correção dos efeitos atmosféricos deve ser realizada para que a metodologia de detecção do estado de conservação da vegetação intra-urbana produza resultados confiáveis.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se nas Macrozonas Sul e Sudeste da Cidade de São José dos Campos, SP, compreendida no retângulo envolvente das coordenadas X1: 23°11'26''S e 45°56'27''W, X2: 23°14'29''S e 45°50'43''W, como mostra a Figura 1. A escolha desta região foi devida, principalmente, à presença de diferentes padrões de vegetação (em praças, canteiros, jardins, parques, entre outros) em diferentes bairros da cidade.



Figura 1. Localização da área de estudo no município de São José dos Campos.

## 3. Metodologia

Neste trabalho, foram utilizadas imagens do sensor QuickBird (Digital Globe Inc.), com resolução espacial de 2,40 metros. Segundo Welch (1982), a heterogeneidade de áreas urbanas implica em uma interpretação complexa, o que exige resolução espacial superior a 5 metros.

As imagens QuickBird foram adquiridas nas seguintes datas: 8 de janeiro (período chuvoso) e 19 de junho (período seco) de 2006. As bandas espectrais utilizadas foram: 2 (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ ), 3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ) e 4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ). Estas bandas representam as faixas espectrais do verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente, cuja combinação fornece as melhores condições para observação da vegetação (Florenzano, 2002).

As imagens usadas no experimento, na composição R(4) G(3) B(2), são mostradas na Figura 2. Pode-se observar que a vegetação aparece em tons de vermelho e destaca-se bem em relação aos outros alvos urbanos.



Figura 2. Composição R(4)G(3)B(2) das imagens originais: (a) Janeiro - época chuvosa, (b) Junho - época seca.

A metodologia proposta pode ser dividida nas seguintes etapas: (1) correção geométrica das imagens; (2) correção atmosférica; (3) identificação de áreas com cobertura vegetal intra-urbana e (4) identificação do estado de conservação da vegetação. O fluxograma na Figura 3 mostra as etapas de processamento implementadas neste trabalho.

### 3.1 Correção geométrica

Pelo fato de as duas imagens terem sido obtidas em datas diferentes e segundo diferentes parâmetros geométricos de aquisição, as imagens foram co-registradas antes de realizar as outras fases de processamento. As imagens foram ortorretificadas usando pontos de controle (GCPs - *Ground Control Points*) obtidos a partir de levantamento GPS (*Global Positioning System*) realizado pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE). Para ortorretificar as imagens, utilizamos a ferramenta *OrthoEngine* do software PCI Geomatica V10.0 (PCI Geomatics, 2007), com base numa modelagem matemática rigorosa. Este modelo usa os coeficientes de um polinomial racional (*Rational Polynomial Coefficient* - RPC), contidos nos metadados das imagens, além de um Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model* - DEM), com resolução de 5 metros, gerado a partir de cartas planialtimétricas 1:10.000. Segundo Araújo et al. (2008), o modelo rigoroso é o mais preciso e modela todas as distorções decorrentes do movimento da plataforma (posição, velocidade, atitude), do sensor (ângulos de visada, efeitos panorâmicos), da forma e da representação da superfície da Terra (elipsóide e topografia) e da projeção cartográfica.

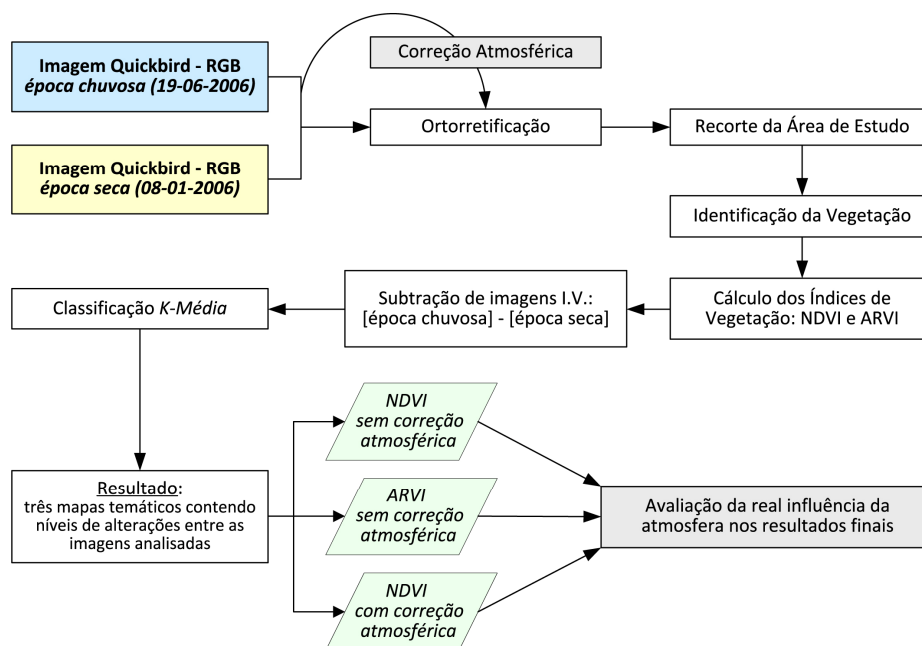


Figura 3. Fluxograma das etapas de desenvolvimento metodológico.

A Figura 4 mostra a imagem da época chuvosa com os pontos de controle e a imagem sobreposta ao modelo digital de elevação. No total, foram utilizados doze GCPs, identificados sobre as imagens pancromáticas. Para cada GCP coletado considerou-se uma razão de 4 para 1 na sua posição de linha e coluna, para posteriormente transferir os pontos GCPs para as imagens multiespectrais. O Erro Médio Quadrático obtido pelo modelo adotado foi de 0,81 metros em X (longitude) e 0,64 metros em Y (latitude).

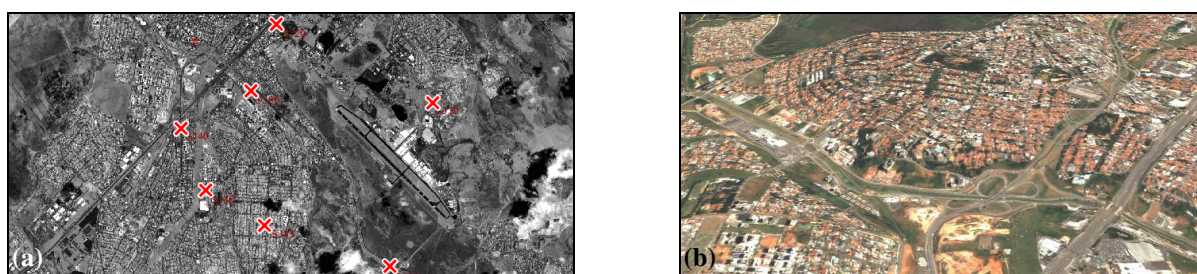


Figura 4. (a) Imagem da época chuvosa com alguns pontos de controle (GCPs) para ortorretificação; (b) imagem sobreposta ao modelo digital de elevação.

### 3.2 Correção Atmosférica

O aplicativo de correção atmosférica adotado neste trabalho, que utiliza o método físico de correção para a geração de imagens reflectância de superfície, foi o *FLAASH* (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* - Spectral Science, 2005), que utiliza o código

*MODTRAN* (*Moderate Resolution Transmission Model*). Este método pode ser usado para correção de imagens de qualquer sensor, desde que sejam fornecidas as características espectrais e os dados de calibração radiométrica do sensor. O *FLAASH* possui um algoritmo específico para a correção atmosférica das imagens do sensor QuickBird, que são usadas neste trabalho.

Para a correção atmosférica e obtenção da imagem de reflectância de superfície, foram inseridos no aplicativo *FLAASH* os seguintes parâmetros de aquisição de imageamento: coordenadas geográficas, elevação do terreno, altitude de vôo e horário de aquisição. A elevação do terreno adotada foi a média da área urbana do município, de 614 metros.

### 3.3 Identificação das áreas de vegetação intra-urbana

Nesta fase, foram utilizados dois índices de vegetação: NDVI e ARVI. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é calculado pela razão entre as bandas da faixa espectral do vermelho e infravermelho, da seguinte forma:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R), \quad (1)$$

onde *NIR* equivale à faixa do infravermelho próximo e *R*, à do vermelho.

A partir da magnitude desta razão, é possível fazer inferências sobre a biomassa verde, teor de clorofila na vegetação e ainda vigor e crescimento da vegetação verde (Jensen, 2007; Ponzoni, 2001). O NDVI permite ainda identificar a presença de vegetação.

O efeito do vapor de água sobre o cálculo deste índice é grande. Uma das formas de minimização deste efeito é a correção atmosférica, direta ou indireta. A correção indireta reformula um novo índice com o objetivo de minimizar a dependência da carga de aerossol, suprimindo a necessidade de conhecê-la.

Um índice proposto na literatura é o Índice de Vegetação Atmosfericamente Resistente (ARVI) (Kaufman e Tanré, 1992, 1996). O índice ARVI substitui o canal vermelho do índice NDVI por uma combinação entre os canais vermelho e azul da seguinte forma:

$$ARVI = (NIR - (2R - B)) / (NIR + (2R - B)), \quad (2)$$

onde *NIR* equivale à faixa do infravermelho próximo, *R*, à do vermelho e *B*, à do azul. Esta modificação retém da mesma forma as informações das propriedades da superfície, porém, de forma significativamente menos sensível aos efeitos dos aerossóis (Kaufman e Tanré, 1996).

Como a resposta espectral da cobertura vegetal nas faixas do visível e do infravermelho próximo sofre variações em função de alterações climáticas anuais, é possível utilizar os índices descritos anteriormente para inferir sobre o estado de conservação da vegetação intra-urbana.

Para identificar as áreas de vegetação, separando-as dos outros alvos, foi utilizada a imagem da época chuvosa, por apresentar o alvo vegetação de forma bem nítida.

Segundo Muhammad et al. (2002), Kwarteng (2002) e Paes et al. (2005), o índice NDVI permite distinguir bem o alvo vegetação dos demais, em áreas urbanas. Assim, foram calculadas as imagens índice NDVI e aplicada a técnica de fatiamento para separação das áreas de vegetação daquelas de não-vegetação. Analisando-se o histograma e os valores de amostras de *pixels*, foi possível definir o limiar ( $NDVI = 0,2$ ) para separar as classes “Vegetação” e “Não-vegetação”.

A classe “Vegetação” foi utilizada como máscara e aplicada sobre as imagens chuvosa e seca com e sem correção atmosférica, extraindo assim somente as áreas com cobertura vegetal. O resultado deste processamento é apresentado na Figura 5.

### 3.4 Identificação de áreas de vegetação com e sem cuidados

Para detecção as áreas de vegetação com e sem manutenção, os índices NDVI e ARVI foram aplicados nas imagens das épocas chuvosa e seca, sem correção atmosférica. No caso das imagens com correção atmosférica, aplicamos apenas o índice NDVI. O índice ARVI não foi aplicado nestas imagens por já levar em conta o efeito atmosférico.



Figura 5. (a) imagem NDVI da imagem chuvosa; (b) máscara de vegetação × não-vegetação (b) recorte da área de vegetação.

A operação de subtração entre as imagens de época seca (junho) e chuvosa (janeiro) resultou em números digitais que correspondem ao grau de alteração detectado entre as imagens em questão. Os níveis de cinza mais claros significam maior grau de alteração, enquanto as áreas mais escuras indicam menor grau de mudança. Áreas com maior grau de variação indicam que a sua cobertura vegetal tem seguido o seu curso natural, sem manutenção, e por isso, sofreram as alterações ditadas pela presença/ausência de chuva. No ambiente intra-urbano, essas áreas podem ser associadas àquelas que não recebem cuidados.

Posteriormente, as imagens subtração “NDVI com correção atmosférica”, “NDVI sem correção atmosférica” e “ARVI sem correção atmosférica” foram classificadas pelo método não-supervisionado *K-Médias*. Três mapas temáticos foram obtidos (Figura 6), considerando três classes que representam o grau de alteração sofrido pela vegetação no período analisado: “Poucas alterações”, “Alterações Significativas” e “Alterações Muito Significativas”.

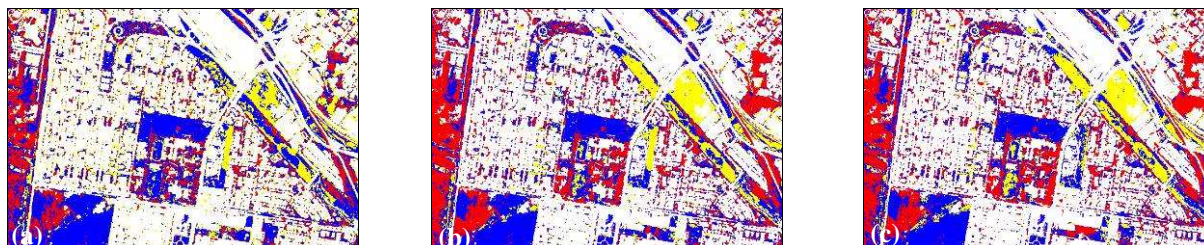


Figura 6. Mapas temáticos obtidos por meio da classificação das imagens-subtração pelo método *K-Média*: (a) “NDVI sem correção atmosférica”, (b) “NDVI com correção atmosférica”, (c) “ARVI sem correção atmosférica”. Classes: vermelho: “Poucas Alterações”, azul: “Alterações Significativas”, e amarelo: “Alterações Muito Significativas”; o fundo branco corresponde à área urbana removida das imagens.

Para esta aplicação específica, é relevante apenas uma avaliação qualitativa das classificações (houve ou não alterações). Com o intuito de verificar a acurácia dos resultados de classificação, tomamos como verdades de campo pontos em locais cujas dinâmicas de alteração da vegetação, no período analisado, eram conhecidas pelos intérpretes.

A fim de avaliar a necessidade de se realizar correção atmosférica, os mapas temáticos obtidos foram comparados entre si, analisando o grau de concordância entre as classes desses mapas e as verdades de campo, por meio de matriz de confusão. Para validação desses resultados, foi calculado o índice *Kappa* (Congalton e Green, 1999).

#### 4. Resultados

A Tabela 1 mostra as matrizes de confusão e índices *Kappa* dos mapas temáticos em relação à verdade de campo. Observando os resultados, é possível verificar as porcentagens de acerto global foram similares (75,13%, 71,55% e 73,85%). Estes acertos referem-se aos *pixels* classificados corretamente, segundo a verdade de campo.

Os erros foram divididos em duas categorias. A primeira categoria, “Erros Críticos”,

representa a porcentagem de *pixels* classificados erroneamente, em relação à verdade de campo, e referem-se às “Alterações Significativas”, englobando os erros de comissão e omissão desta classe. A segunda, “Erros”, refere-se aos *pixels* que pertencem à classe “Poucas Alterações” que migraram para a “Alterações Muito Significativas” e vice-versa.

Por se tratar de grandes transformações na cobertura do solo, os “Erros” não constituem alvo de interesse. Por exemplo, a limpeza de um terreno para construção ou a abertura de uma via (alto NDVI em janeiro × baixo NDVI em junho), se mal classificada, em desacordo com a verdade de campo, produziria uma migração de *pixels* da classe “Alterações Muito Significativas” para “Poucas Alterações”. Apesar de omitir um dado quanto às transformações ocorridas na cobertura vegetal, isso em nada interfere na avaliação dos estados de conservação das áreas verdes que agregam qualidade de vida à população.

Tabela 1: Matrizes de confusão e índices *Kappa* globais dos mapas temáticos em relação à verdade de campo.

		“VERDADE DE CAMPO”				TOTAL		
		POUCAS ALTERAÇÕES	ALTERAÇÕES SIGNIFICAT.	ALT. MUITO SIGNIFICAT				
NDVI sem correção atmosférica	POUCAS ALTERAÇÕES	853	1161	12	2026	ACERTOS:	75,13%	
	ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS	1276	5253	1023	7552	ERROS:	0,11%	
	ALT. MUITO SIGNIFICATIVAS	7	786	6777	7570	ERROS CRÍTICOS:	24,76%	
	<b>TOTAL</b>	2136	7200	7812	17.148	KAPPA:	0,58	
ARVI sem correção atmosférica	POUCAS ALTERAÇÕES	1063	1487	4	2554	ACERTOS:	71,55%	
	ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS	1052	3600	201	4853	ERROS:	0,15%	
	ALT. MUITO SIGNIFICATIVAS	21	2113	7607	9741	ERROS CRÍTICOS:	28,30%	
	<b>TOTAL</b>	2136	7200	7812	17.148	KAPPA:	0,53	
NDVI com correção atmosférica	POUCAS ALTERAÇÕES	1124	1519	9	2652	ACERTOS:	73,85%	
	ALTERAÇÕES SIGNIFICATIVAS	1003	3920	183	5106	ERROS:	0,10%	
	ALT. MUITO SIGNIFICATIVAS	9	1761	7620	9390	ERROS CRÍTICOS:	26,04%	
	<b>TOTAL</b>	2136	7200	7812	17.148	KAPPA:	0,57	

Os índices globais *Kappa*, para os três mapas, além de considerados de boa qualidade (0,40 a 0,60) segundo Landis e Koch (1977), também foram semelhantes (0,58, 0,53 e 0,57), porém o teste de hipótese refutou a igualdade desses resultados, com 5% de significância. Assim, os índices *Kappa*, relativos à classe “Alterações Significativas” dos três mapas, foram também calculados. No contexto deste estudo, esta classe é a de maior interesse, pois expressa a ocorrência ou não de manutenção nas áreas verdes, podendo indicar a falta de manutenção.

Os índices *Kappa*-classe encontrados foram: 0,47 para o mapa “NDVI sem correção atmosférica”, 0,55 para o “ARVI sem correção atmosférica” e 0,60 para o “NDVI com correção atmosférica”. Da mesma forma, o teste de hipótese refutou a igualdade desses resultados, com 5% de significância. Este resultado mostra que o mapa obtido com dados com correção atmosférica é mais preciso na identificação de *alterações significativas* no estado de conservação da vegetação.

A Figura 7 mostra os mapas temáticos obtidos pela operação de diferença entre os mapas “NDVI com correção atmosférica”, “NDVI sem correção atmosférica” e “ARVI sem correção atmosférica”, realizada dois a dois; e os histogramas relativos a esses novos mapas. No âmbito desta aplicação, a discordância entre dois mapas temáticos é relevante nas categorias que envolvem a classe de interesse “Alterações Significativas”. Nestes mapas, sete categorias, que indicam a discordância entre os mapas, foram definidas. Estas categorias são identificadas pelos números 1-7 e pelas cores mostradas na Figura 7. A categoria 0 indica as áreas urbanas, que não foram processadas. Nos histogramas, o eixo *x* indica as categorias de discordância e o eixo *y* indica o número de *pixels* relativo a cada uma das categorias.

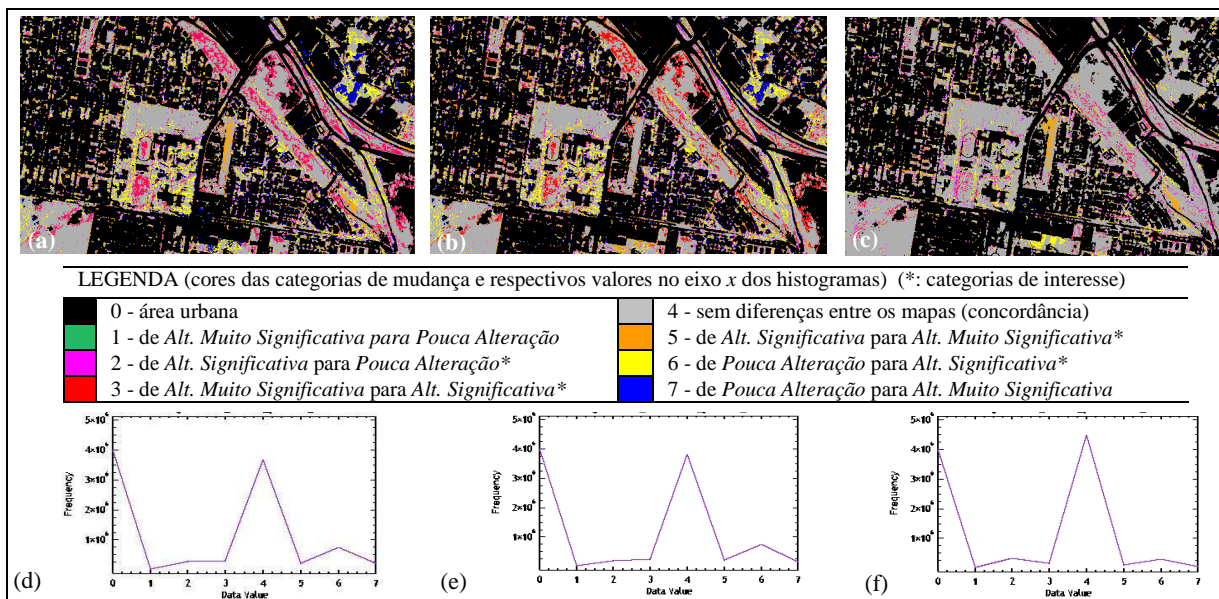


Figura 7. Imagens representando a diferença entre os mapas: (a) “ARVI sem correção atmosférica” e “NDVI sem correção atmosférica”, (b) “NDVI com correção atmosférica” e “NDVI sem correção atmosférica”, (c) “ARVI sem correção atmosférica” e “NDVI com correção atmosférica”, e seus respectivos histogramas (d) (e) (f).

Observando os mapas e gráficos da Figura 7, pode-se concluir que os mapas menos discordantes entre si são o “NDVI com correção atmosférica” e o “ARVI sem correção atmosférica”, por apresentarem menos erros de comissão e omissão relativos à classe “Alterações Significativas”. Esta semelhança é explicada pelo fato de os dois métodos procurarem amenizar, cada um a seu modo, os efeitos atmosféricos.

Apesar da pequena discordância encontrada nos mapas temáticos relativos a esses dois métodos, o índice *Kappa* calculado para a classe “Alterações Significativas” reforça a necessidade de realizar a correção atmosférica antes da aplicação dos índices de vegetação.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, para esta área de estudo, conclui-se que a atmosfera pode alterar as respostas espectrais dos elementos vegetais, comprometendo a precisão dos resultados. A Figura 8 apresenta o mapa de alterações da vegetação intra-urbana da área de estudo.

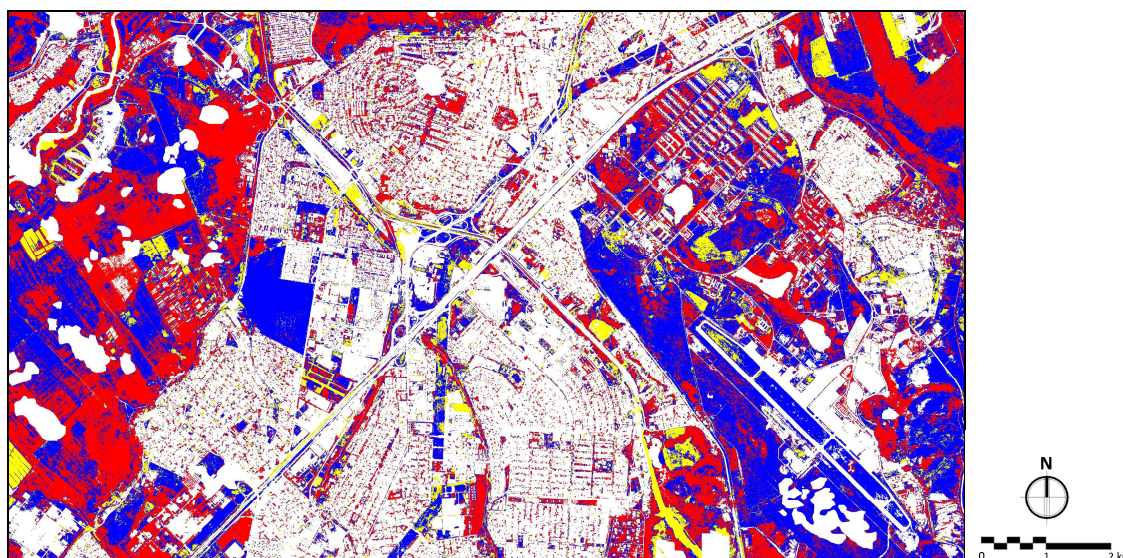


Figura 8. Mapa temático resultante da classificação da imagem subtração “NDVI com correção atmosférica”. Classes: vermelho: “Poucas Alterações”, azul: “Alterações Significativas”, e amarelo: “Alterações Muito Significativas”; o fundo branco corresponde à área urbana removida das imagens.

## 5. Considerações Finais

Os resultados obtidos através da metodologia proposta foram considerados satisfatórios, uma vez que foi possível observar a importância de ser realizada a correção do efeito atmosférico para o estudo do estado de conservação da vegetação intra-urbana. De uma forma geral, os métodos envolvidos neste processo podem ser considerados simples, de fácil aplicação e de baixo custo computacional.

Apesar dos bons resultados obtidos, deve-se alertar para o fato de que este caso é específico para a área de estudos abordada. São necessários novos testes em imagens com outros padrões de vegetação urbanas e de uma amostra mais variada para afirmar que a metodologia pode ser usada com segurança em outros casos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FAPEAM - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pelo apoio financeiro à execução deste trabalho.

## Referências

- Araújo, E. H. G.; Kux, H. J. H.; Florenzano, T. G. Ortorectificação de imagens do satélite QuickBird para aplicações urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60/2, p. 205-213. 2008.
- Ceccato, V. A. **Proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e banco de dados georrelacional**. 1994. 136 p. (INPE-5552-TDI/536). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1994.
- Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: CRC/Lewis Press. 1999. 137 p.
- Domingos, P. L. H. **Aplicação de Dados de Sensoriamento Remoto Orbital de Alta Resolução à Análise da Cobertura Vegetal Intra-urbana e seu Estado de Conservação**. 2005. 117 p. (INPE-TDI/). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2002. 104 p.
- Haala, N.; Brenner, C. Extraction of buildings and trees in urban environments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, p. 130-137, 1999.
- Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective**. New Jersey: Prentice Hall. 2 ed. 2007. 592 p.
- Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Atmospheric resistant vegetation index. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 30, p. 261-270, 1992.
- Kaufman, Y. J.; Tanré, D. Strategy for Direct and Indirect Methods for Correcting the Aerosol Effect on Remote Sensing: from AVHRR to EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 65-79, 1996.
- Kwarteng, A. Y. Remote sensing monitoring of greenery development in Kuwait city. International Symposium on Remote Sensing of urban Areas. **Anais**. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University, 2002. v. 3, p. 363-369.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174. Mar 1977.
- Muhammad, S.; Wachowickz, M.; Carvalho, L.M.T. Extraction of urban and rural features by using image fusion techniques and neural networks. In: International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas. **Anais**. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University, v. 3, p. 190-199, 2002.
- Paes, F. C.; Pinto, S. A. F.; Dutra, L. V. Um estudo exploratório para obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IQV) utilizando imagens de alta resolução espacial do satélite Ikonos II. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais**. Goiânia, GO: INPE, 2005. v. XII, p. 1907-1914.
- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Netto, J. S. M. (Org.) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UNB / Embrapa Cerrados, 2001. Cap. 5, p. 157-199.
- Welch, R. Spatial resolution requirements for urban studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 3, n. 2, p. 139-146, 1982.