

Análise das transformações na área urbana de Altamira (PA), entre 2000 e 2010, a partir da composição Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S)

Mayumi Cursino de Moura Hirye ¹
Diógenes Salas Alves ¹
Hermann Johann Heinrich Kux ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
mayhirye@hotmail.com; dalves@dpi.inpe.br; hermann@dsr.inpe.br

Abstract. The city of Altamira (PA) is characterized by a peculiar process of urban expansion that began in the 1970s with the acceleration of the agricultural frontier expansion in the Brazilian Amazon and is now associated with the construction of the Belo Monte hydroelectric power plant. In this paper, transformations in the city occurred between 2000 and 2010 are investigated according to Vegetation-Impervious surface-Soil Model (V-I-S) Model proposed by Ridd (1995) for urban analysis based on remote sensing data. V-I-S data were obtained by applying a linear mixture model to Landsat 5 TM images. Estimates show a 40% increase in areas of soil or imperviousness at the expense of vegetation cover. Ternary diagram of V-I-S highlighted processes of urban expansion through transformation of rural areas into urban or through new construction in previously urbanized areas.

Palavras-chave: urban remote sensing, Landsat TM, Linear Spectral Mixture Model, Vegetation-Impervious Surfaces-Soil Model (V-I-S), sensoriamento remoto de áreas urbanas, Landsat TM, Modelo Linear de Mistura Espectral, Modelo Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S).

1. Introdução

As aplicações do sensoriamento remoto em estudos de áreas urbanas tem se beneficiado do mapeamento de superfícies impermeáveis (“*impervious surfaces*”) (LU et al. 2011a e b; KUCK, 2010; WENG e LU, 2008 e 2009; LU e WENG, 2004 e 2006; BAUER et al., 2008; POWELL e ROBERTS, 2008; POWELL et al. 2007; DOUGHERTY, 2004; WU e MURRAY, 2003; SMALL, 2002; PHINN et al., 2002; CIVCO et al., 2002, entre outros). Superfícies impermeáveis ou impermeabilizadas podem ser caracterizadas como “feições construídas pela ação humana através das quais a água não pode infiltrar no solo” (WENG, 2012) e cobrem parte importante das cidades. A extensão das superfícies impermeabilizadas é adotada em variadas aplicações de planejamento urbano e ambiental, tais como a delimitação de áreas urbanizadas ou a avaliação do crescimento urbano, assim como para entender e controlar os impactos hidrológicos na escala de uma bacia hidrográfica ou subsidiar avaliações de qualidade da água.

Ridd (1995) propôs um modelo ternário conceitual para caracterizar, a partir de dados de sensoriamento remoto, distintos segmentos de áreas urbanas (ou classes) de acordo com a composição de três elementos: vegetação (V), impermeabilização (I) e solo (S). As classes (i.e., área central comercial, área residencial de alta densidade etc.) são representadas em um diagrama ternário (Figura 1). Ainda que cada pixel de uma imagem possa ser caracterizado a partir da composição de vegetação, impermeabilização e solo, a análise urbana só é possível na agregação dos pixels em unidades espaciais, chamadas pelo autor de eco-unidades. A lógica utilizada para agregar os pixels, assim como o tamanho ou a forma das eco-unidades, depende dos objetivos da análise pretendida. A caracterização de cada eco-unidade que torna possível a comparação morfológica (mudanças no tempo e entre diferentes cidades) ou a estimativa de indicadores biofísicos ou sociais (RIDD, 1995). Por ser um modelo simples, mas eficaz para a caracterização da composição de áreas urbanas, ele tem sido amplamente utilizado em estudos urbanos (TANG e WANG, 2012, WENG e LU, 2009; POWELL e ROBERTS, 2008 e 2010; POWELL et al., 2007; LU e WENG, 2004; WU e MURRAY, 2003; PHINN et al., 2002; MADHAVAN et al., 2001; entre outros).

Trabalhos como os de Madhavan et al. (2001) e Phinn et al. (2002) aplicaram o modelo V-I-S em Bangkok (Tailândia) e Brisbane (Austrália) e concluíram que, apesar do modelo de ser de grande utilidade, a composição das classes proposta por Ridd (1995), baseada em dados de Salt Lake (Estados Unidos) não pode ser estendida a todas as cidades. Powell e Roberts (2010) concluem que diferentes proporções de V-I-S caracterizam diferentes estágios de desenvolvimento das nove cidades estudadas no estado de Rondônia / BR entre 1985 e 2000. Lu e Weng (2004) argumentam que o modelo V-I-S de Ridd (1995) é de difícil implementação, devido justamente à componente Impermeabilização, que, embora fundamental na composição teórica da paisagem, é, na realidade, uma combinação complexa de materiais, de difícil identificação e que varia de acordo com a localidade considerada. Por outro lado, a sombra é um importante componente capturado pelas imagens ópticas. Assim, Lu e Weng (2004) propõem um modelo conceitual que considera nos vértices do diagrama ternário os componentes (*endmembers*) diretamente derivados do modelo linear de mistura espectral aplicado a imagens do sensor ETM+ para a cidade de Indianópolis (Estados Unidos): sombra; vegetação fotossinteticamente ativa e solo/áreas impermeabilizadas (Figura 3). Outros trabalhos, como os de Lu et al. (2011a, b), Weng e Lu (2009) e Lu e Weng (2006), seguindo o proposto por Wu e Murray (2003), utilizam o modelo V-I-S, mas dão ênfase na seleção de *endmembers* para o modelo linear de mistura espectral. Esses trabalhos concluem pela utilização de modelos com quatro *endmembers*: alto albedo (i.e. concreto, nuvens, areia), baixo albedo (i.e. água e asfalto), vegetação e solo.

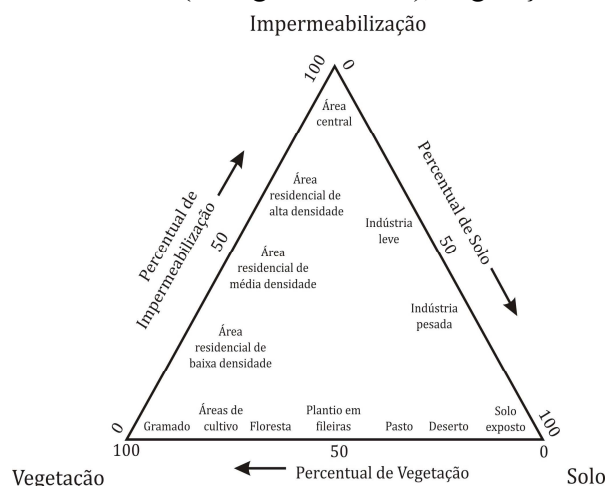


Figura 1. Diagrama ternário de Vegetação-Impermeabilização-Solo (V-I-S). Adaptado de Ridd (1995).

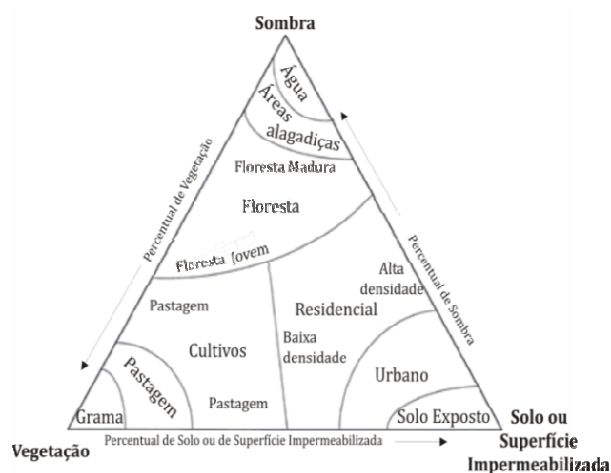


Figura 2. Diagrama ternário de Vegetação Impermeabilização ou Solo e Sombra. Adaptado de Lu e Weng (2004).

Este trabalho tem como objetivo avaliar as transformações da área urbana de Altamira (PA) entre 2000 e 2010, a partir da composição V-I-S e de dados obtidos com a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral a imagens de média resolução espacial.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A cidade de Altamira está situada na porção central centro do Estado do Pará, na margem esquerda do rio Xingu (Figura 5). Em 2010, de acordo com a Lei Municipal 2.047/2009, a área da cidade passível de ser urbanizada somava 8.968 ha.

A cidade de Altamira (PA) passou por transformações importantes em seu território desde a década de 1970, quando se acelerou a expansão da fronteira agrícola na Amazônia. Novas formas de ocupação urbana foram justapostas às estruturas urbanas herdadas de períodos

anteriores, ao lado da expansão da área urbanizada. Após o pico de crescimento da cidade ocorrido na década de 70, vinculado à ocupação da fronteira agrícola e, especificamente, à construção da Rodovia Transamazônica, quando a população urbana cresceu a uma taxa média de 16% ao ano, atualmente, a construção da UHE Belo Monte pode ser associada a uma nova fase de transformações na cidade. Entre 2000 e 2010, o ritmo de crescimento foi de 3% ao ano (taxa superior à da média do estado do Pará e do Brasil), sendo que a população urbana passou de 62 mil para 84 mil pessoas (IBGE, 2013).

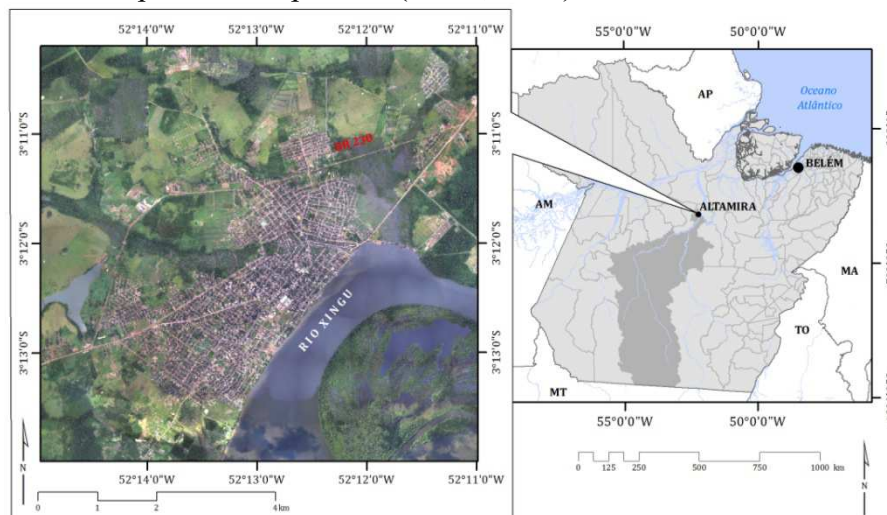


Figura 3. Ortofoto de Altamira no ano de 2010 e localização da cidade no Pará.

A estrutura física da cidade ainda é deficiente, apesar dos aportes e esforços governamentais que acompanharam as políticas de desenvolvimento que tiveram Altamira como foco, como o Projeto Integrado de Colonização (MACHADO, 2002) ou mesmo o Plano Básico Ambiental da UHE Belo Monte (LEME ENGENHARIA, 2009). Dados estatísticos (IBGE, 2013) e de campo comprovam que não há cobertura total das redes de abastecimento de água coletivo, coleta e tratamento de esgoto, pavimentação e drenagem de águas pluviais.

2.2 Materiais

Foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, que foram obtidas do acervo de imagens digitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE, 2012), datadas de 28 de Julho de 2000 e 24 de Julho de 2010. Adicionalmente, foram utilizadas ortofotos de 1999/2000 e 2010 para a caracterização da área de estudo e para a interpretação e validação dos resultados obtidos.

2.3 Métodos

O trabalho incluiu duas etapas: a primeira consistiu na elaboração de mapas de cobertura da terra e incluiu o co-registro das imagens, a transformação dos dados para reflectância no topo da atmosfera, cálculo do modelo de mistura, mapeamento da cobertura da terra em 2000 e 2010 e a validação dos mapas produzidos; a segunda consistiu na avaliação da composição V-I-S da área urbana de Altamira e da sua transformação ao longo do período de estudo.

2.3.1 Elaboração dos Mapas de Cobertura da Terra

O ajuste posicional entre as imagens de satélite e as ortofotos foi feito utilizando-se o registro de imagem para imagem, por meio do software ENVI. Pontos no mosaico de ortofotos de 2010 foram tomados como referência para o registro das imagens, utilizando-se função polinomial de primeiro grau e a reamostragem pelo método do vizinho mais próximo.

Para as imagens de alta resolução, foram tomados 35 pontos, com um erro menor que 3m. Nas de média resolução, foram 20 pontos, com um erro menor que 0,6 pixel.

As imagens do sensor TM foram transformadas para valores de reflectância no topo da atmosfera e decompostas pelo Modelo Linear de Mistura Espectral. O modelo compreendeu 6 *endmembers* – solo de área de extração, vegetação de área de floresta, telha escura, telha clara, asfalto e água – e foi estimado de acordo com:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{i,j}x_j) + e_i \quad (1)$$

em que: r_i é a reflectância do pixel na banda i ; $a_{i,j}$ é o valor do pixel de amostra do *endmember* j na banda i ; x_j é a fração do *endmember* j ; e_i é o resíduo na banda i , que inclui erros de medição e contribuições de qualquer componente que não tenha sido considerado.

Os perfis espectrais dos *endmembers* foram tomados da imagem de 2010, e aplicados para estimar os modelos da imagem tanto de 2010, como de 2000. Além disso, não foi imposta nenhuma restrição à equação do MLME, à semelhança da solução adotada por Lu e Weng (2004).

Para elaborar mapas de cobertura da terra da cidade de Altamira em 2000 e 2010, com as classes Vegetação, Impermeabilização e Solo, em concordância com o proposto no modelo V-I-S (RIDD, 1995), foi desenvolvido um código em R para: 1- atribuir valor 0 aos pixels de cada imagem-fração com valor inferior a 0 ou superior a 1; 2- normalizar as imagens-fração que representam as classes do mapa de cobertura da terra, conforme descrito por Adams e Gillespie (2006); 3- identificar, em cada pixel da cena, a imagem-fração que possui o maior valor e atribuir como: Vegetação, os pixels cujo maior valor seja o da fração de vegetação de área florestada; Solo, os pixels cujo maior valor seja o da fração de solo de área de extração; e Impermeabilizado, os pixels cujo maior valor seja o de uma das frações de telha escura, telha clara ou asfalto. Para excluir pixels identificados como água, nuvem ou sombra de nuvem, foram criadas máscaras a partir da interpretação visual das imagens de 2000 e 2010.

Os índices de Exatidão Global e Exatidão Global Normalizada e Kappa, derivados da matriz de confusão e da matriz de confusão normalizada, foram utilizados para avaliar a concordância entre a classificação da cobertura da terra e as ortofotos. Foram aleatoriamente selecionadas amostras de tamanho de 3x3 pixels (90m x 90m). As amostras de referência foram obtidas pela interpretação visual de ortofotos de 2010 e 1999/2000. Para determinar a qual classe pertence cada amostra do mapa de cobertura da terra, foi feita a soma dos pixels por classe. Foram excluídas as amostras localizadas fora das ortofotos ou em áreas mascaradas (água, nuvens e sombras de nuvens). Também foram eliminadas as amostras que apresentaram dúvidas na classificação e as que não puderam ser classificadas por que houve empate ou na soma do número de pixels por classe do mapa de cobertura da terra ou na área das classes interpretadas nas ortofotos. Foram consideradas 169 e 193 amostras na avaliação dos mapas de 2000 e 2010, respectivamente.

2.3.2 Análise da urbanização em Altamira a partir da composição V-I-S

Para a análise de Altamira, os dados dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 foram sobrepostos ao mapa com a classificação da área urbana em: centro, caracterizado como a área de ocupação mais antiga da cidade; bairros com mais de 50% dos lotes ocupados em 2010; bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2010; e, chácaras, definidos como bairros próximos à mancha urbana de Altamira com lotes de área mínima de 2.500 m² (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei n° 21.518/200). A classificação dos bairros foi feita com base na identificação da ocupação nas ortofotos de 1999/2000 e 2010 e em trabalhos de campos, descritos detalhadamente em Hirye (2014). A partir dessa classificação, os dados de 2000 e 2010 foram plotados em um diagrama ternário de V-I-S para a análise da composição da área urbana de Altamira e das modificações ocorridas entre as duas datas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapas de Cobertura da Terra

Os dois mapas de cobertura da terra (Figura 4) apresentaram exatidão global de 85,2% (2000) e 88,1% (2010). O índice *Kappa* foi de 0,668 (2000) e 0,751 (2010), com um intervalo de confiança (95%) de $\pm 0,120$ (2000) e $\pm 0,09$ (2010). A incorporação dos erros de omissão e comissão no cálculo da exatidão global normalizada faz com que seus valores sejam menores que a exatidão global, sendo 75,2% (2000) e 71,6% (2010). Para um nível de significância de 5%, o teste *Z* mostrou que ambos os mapas são melhores que uma classificação casual.

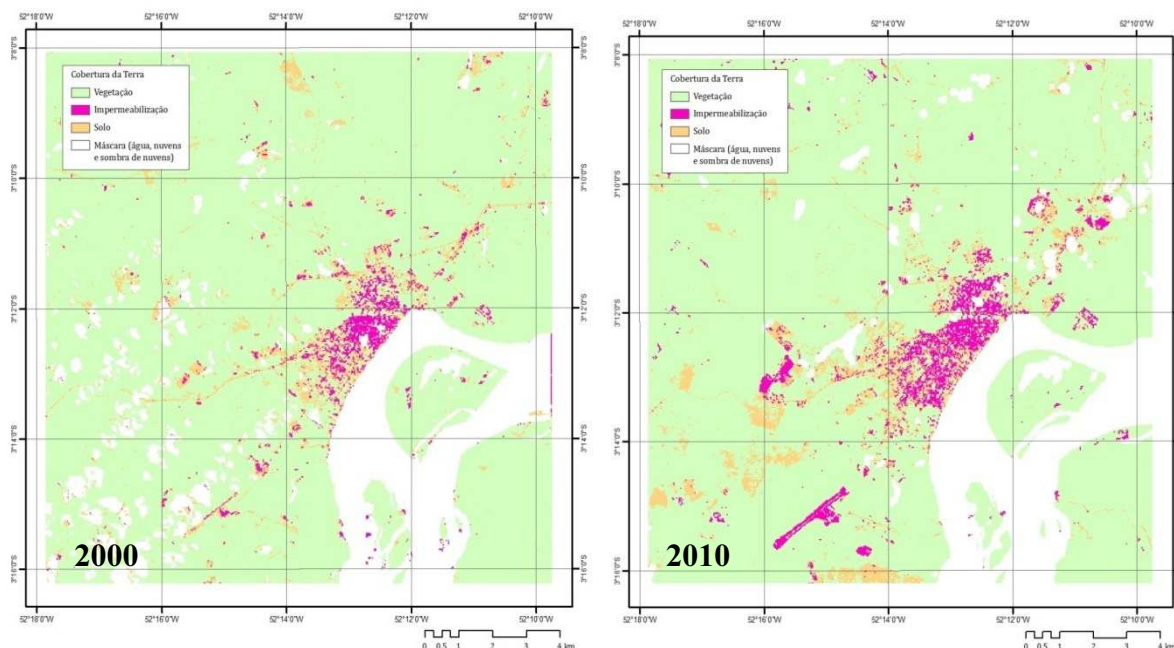


Figura 4. Mapas de cobertura da terra de Altamira em 2000 e 2010.

As frações de vegetação e solo apresentaram maior concordância, sendo que a fração de impermeabilização para o ano de 2000 é ligeiramente melhor que para 2010 (Tabela 1). A fração solo foi aquela que apresentou os valores mais baixos na matriz, observando-se confusão tanto com áreas impermeabilizadas quanto com áreas de vegetação. Em 2000, a confusão foi mais acentuada com áreas impermeabilizadas.

Tabela 1 – Matrizes de confusão normalizadas para os anos de 2000 e 2010.

Mapa de Cobertura da Terra	Ano 2000			Ano 2010		
	Amostras de Referência			Amostras de Referência		
	Imperm.	Solo	Vegetação	Imperm.	Solo	Vegetação
Imperm.	0,8439	0,1531	0,0037	0,8320	0,1448	0,0237
Solo	0,0461	0,7072	0,2464	0,1165	0,8151	0,0687
Vegetação	0,1100	0,1397	0,7499	0,0515	0,0401	0,9076

3.2 Análise da urbanização em Altamira a partir da composição V-I-S

Tomando-se como recorte o perímetro urbano de Altamira vigente em 2010 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA, Lei n° 2.047/2009), a comparação entre os mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 mostrou o crescimento das áreas impermeabilizadas e de solo e a diminuição das áreas de vegetação (Tabela 2).

Tabela 2. Áreas de vegetação, impermeabilização e solo no perímetro urbano de Altamira, quantificadas a partir dos mapas de cobertura da terra, elaborados considerando as classes propostas no modelo V-I-S (RIDD, 1995) e a identificação do pixel de maior valor das frações calculadas pelo MLME como regra para a atribuição de classes.

Ano	Vegetação		Impermeabilização		Solo		Sem Informação		Perímetro Urbano definido pela Lei 2.047/2009 (ha)
	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	
2000	66,2	5.935	3,7	328	6,6	596	23,5	2.109	8.970
2010	62,0	5.560	6,1	551	8,3	745	23,5	2.111	

Os dados de cobertura da terra foram plotados no diagrama V-I-S, de acordo com a classificação da área urbana em: centro, bairros de chácaras, bairros com mais de 50% dos lotes ocupados em 2010 e bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2010 (Figura 5).

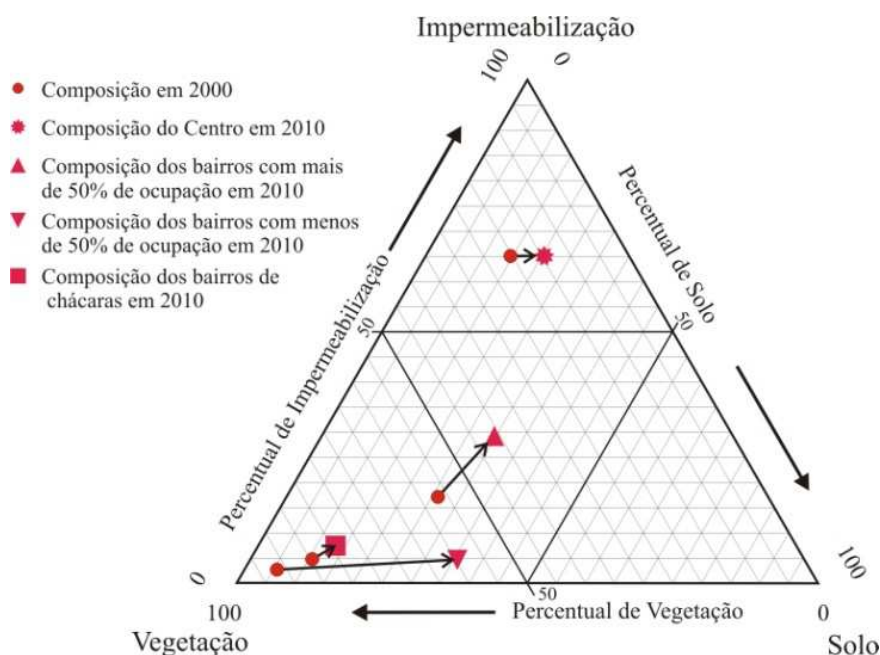


Figura 5. Diagrama ternário da composição V-I-S dos bairros de Altamira em 2000 e 2010.

Nas duas datas, o centro de Altamira foi caracterizado pelo maior percentual de impermeabilização (65%) e menor percentual de vegetação e solo (entre 14 e 21%). Esses resultados sugerem uma composição diferenciada da apresentada por Ridd (1995), na qual o a área central (*central business district*) possui mais de 80% de impermeabilização. Os bairros onde predominam as chácaras, que não têm correspondência com nenhuma das classes representadas no diagrama V-I-S de Ridd (1995), apresentaram percentual de vegetação perto de 80%, de solo entre 10 e 15% e de impermeabilização perto de 5%.

Entre 2000 e 2010, a transformação de Altamira ocorreu nos bairros com mais de 50% de lotes ocupados em 2010 quanto nos com menos de 50% de lotes ocupados, resultado tanto do surgimento de novos bairros como do adensamento das construções em bairros já implantados (Figura 6). Nas áreas dos bairros com mais de 50% dos lotes ocupados, observou-se o aumento da impermeabilização (de 17% para 29%) e a diminuição da componente vegetação (de 56% para 41%), enquanto o percentual de solo apresentou menor variação (de 27% para 30%). Nas áreas dos bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2010, observou-se a diminuição do percentual de vegetação (de mais de 92% em 2000, para 58% em 2010) com o aumento do percentual de solo (de 7% para 37%). Nesses bairros, o percentual de impermeabilização ainda é baixo (menos de 5% nas duas datas).

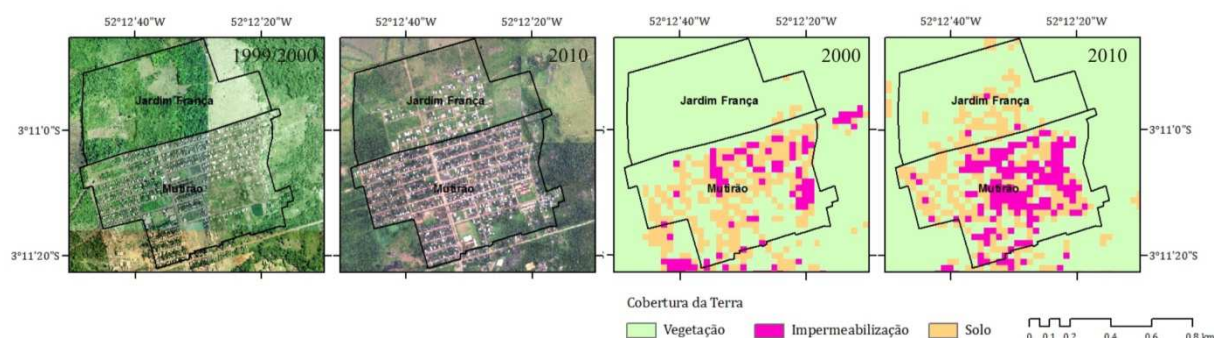


Figura 6. Bairros Jardim França (com menos de 50% dos lotes ocupados) e Mutirão (com mais de 50% dos lotes ocupados) nas ortofotos e nos mapas de cobertura da terra em 1999/2000 e 2010.

Esse padrão de expansão é similar ao observado por Powell e Roberts (2010) para as cidades de Rondônia (Figura 9), em que na situação inicial de desenvolvimento urbano, predomina cobertura de floresta primária; no estágio subsequente, ocorre o desflorestamento e surgimento do “campo urbano”, representado pelo aumento da proporção de solo; o início da urbanização é caracterizado pelo aparecimento de áreas impermeabilizadas em proporções variadas; e a situação final, considera o núcleo consolidado com o aumento da proporção de vegetação (arborização urbana ou re-vegetação de áreas abertas).

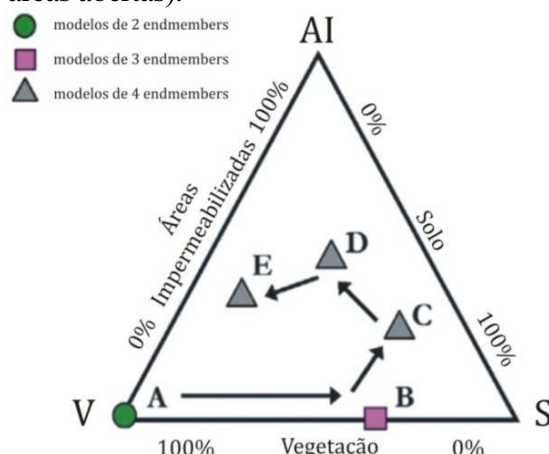


Figura 7. Representação da trajetória de desenvolvimento de núcleos urbanos na fronteira de ambiente de floresta tropical. Fonte: Powell e Roberts (2010).

4. Conclusões

Foram obtidos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010 satisfatórios, conforme critérios sugeridos por Foody (2002). As áreas de solo apresentaram confusão tanto com áreas impermeabilizadas como com áreas de vegetação, conforme reportado em trabalhos anteriores (LU; WENG, 2004; POWELL et al., 2007; KUCK, 2010).

Este trabalho mostra a particular utilidade da composição V-I-S para a análise de cidades como Altamira, pouco consolidadas e que apresentam um acentuado processo de crescimento. Nesses casos, diferentemente do proposto por Ridd (1995), as áreas centrais não são caracterizadas pela predominância do componente impermeabilização, assim como as áreas residenciais não são resultantes da mistura em diferentes proporções de impermeabilização e vegetação. O componente solo, apesar de ser o que apresenta o pior desempenho na classificação da cobertura da terra, é um componente crucial, já que capta as áreas de solo exposto preparadas para a urbanização ou construção, as vias não pavimentadas e áreas públicas e privadas sem tratamento paisagístico ou pavimentação de cidade como Altamira.

Referências Bibliográficas

- ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. **Remote sensing of landscapes with spectral images a physical modeling approach**. Cambridge, England: Cambridge University, 2006.
- BAUER, M. E.; LOFFELHOLZ, B. C.; QILSON, B. "Estimating and Mapping Impervious Surface Area by Regression Analysis of Landsat Imagery," in **Remote Sensing of Impervious Surfaces**, 1a ed., Q. Weng, ed. Boca Raton: CRC / Taylor & Francis, 2008.
- CIVCO D. L.; HURD, J. D.; WILSON, E. H.; ARNOLD, C. L.; PRISLOE, M. P. Quantifying and Describing Urbanizing Landscapes in the Northeast U.S. **Photogr. Eng. & Rem. Sens.**, v.68, n°10, pp. 1083-1090, 2002.
- DOUGHERTY, M.; DYMOND, R. L.; GOETZ, S. J.; JANTZ, C. A.; GOULET, N. Evaluation of Impervious Surface Estimates in a Rapidly Urbanizing Watershed. **Photogr. Eng. & Rem. Sens.**, v.70, n°11, pp. 1275-1284, 2004.
- FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Rem. Sens. of Environ.**, v. 80, n° 1, p.185-201, 2002.
- HEROLD, M.; ROBERTS, D. A.; GARDNER, M. E.; DENNISON, P.E. Spectrometry for urban area remote sensing - Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. **Rem. Sens. of Environ.**, v. 91, n° 3-4, p.304-319, 2004.
- HIRYE, M. C. M. **Análise da expansão urbana com utilização do modelo linear de mistura espectral: estudo de caso em Altamira (PA) entre 2000 e 2010**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, S. J. dos Campos, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de recuperação automática**. Dados dos Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em fev-2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Catálogo de Imagens. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em jul-2012.
- KUCK, T. N. **Análise da impermeabilização da área urbana de Manaus (1987-2006) com o uso do modelo de mistura espectral MESMA**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, S. J. dos Campos, 2010.
- LEME ENGENHARIA LTDA. **Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Belo Monte – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**, 2009. Disponível em <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/BeloMonte/EIA/>>. Acesso em out-2012.
- LU, D.; WENG, Q. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ Imagery. **Photogr. Eng. & Rem. Sens.**, v. 70, n° 9, p.1053-1062, 2004.
- _____. Use of impervious surface in urban land-use classification. **Rem. Sens. of Environ**, v. 102, n° 1-2, p.146-160, 2006.
- LU, D.; MORAN, E.; HETRICK, S. Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban-rural frontier. **Journal of Photogr. and Rem. Sens.**, v. 66, n° 3, p.298-306, 2011a.
- LU, D.; LI, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; FREITAS, C. C. Mapping impervious surfaces with the integrated use of Landsat Thematic Mapper and radar data: a case study in an urban-rural landscape in the Brazilian Amazon. **ISPRS Journal of Photogr. and Rem. Sens.**, v. 66, n° 6, p.798-808, 2011b.
- MACHADO, L. A. fronteira Agrícola na Amazônia. In: CHRISTOFOLETTI, A.; BECKER, B. K.; DADIDOVICH, F. R.; GEIGER, P.P. **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Huicitec e Annablume, 3ª ed, 2002.
- MADHAVAN, B. B.; KUBO, S.; KURISAKI, N.; SIVAKUMAR, T. V. L. N. Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok Metropolitan area using a vegetation-impervious-soil model through remote sensing. **Intl. Journal of Rem. Sens.**, v. 22, n° 5, p.789-806, 2001.
- PHINN, S.; STANFORD, M.; SCARTH, P.; MURRAY, A. T.; SHYY, P.T. Monitoring the composition of urban environments based on the vegetation-impervious surface-soil (VIS) model by subpixel analysis techniques. **Intl. Journal of Rem. Sens.**, v. 23, n° 20, p.4131-4153, 2002.
- POWELL, R.; ROBERTS, D.; DENNISON, P.; HESS, L. Sub-pixel mapping of urban land cover using multiple endmember spectral mixture analysis: Manaus, Brazil. **Rem. Sens. of Environ**, v. 106, n° 2, p.253-267, 2007.
- POWELL, R. L.; ROBERTS, D. A. Characterizing variability of the urban physical environment for a suite of cities in Rondônia, Brazil, **Earth Interactions Journal**, v. 12, n° 13, p.1-32, 2008.
- _____. Characterizing urban land-cover change in Rondônia, Brazil: 1985 to 2000. **Journal of Latin American Geography**, v. 9, n° 3, p.183-211, 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA. **Lei Municipal 2.047/2009**. Dispõe sobre o Perímetro Urbano.
- RIDD, M. K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities. **Intl. Journal of Rem. Sens.**, v. 16, n° 12, p.2165-2185, 1995.
- SMALL, C. Multitemporal analysis of urban reflectance. **Rem. Sens. of Environ**, v. 81, n° 2-3, p.427-442, 2002.
- WENG, Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: requirements, methods, and trends. **Rem. Sens. of Environ**, v. 117, p.34-49, 2012.
- WENG, Q.; LU, D. Landscape as a continuum: an examination of the urban landscape structures and dynamics of Indianapolis City, 1991–2000, by using satellite images. **Intl. Journal of Rem. Sens.**, v. 30, n° 10, p.2547-2577, 2009.
- WENG, Q.; HU, X.; LU, D. Extracting impervious surfaces from medium spatial resolution multispectral and hyperspectral imagery: a comparison. **Intl. Journal of Rem. Sens.**, v. 29, n° 11, p.3209-3232, 2008.
- WU, C.; MURRAY, A. T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. **Rem. Sens. of Environ**, v. 84, n° 4, p.493-505, 2003.
- TANG, Q.; WANG, L. Urban land-use, land-cover classification through watershed segmentation in the V–I–S feature space. **Remote Sensing Letters**, v.3, n°8, pp. 677-685, 2012.