

Avaliação da cobertura do solo no entorno de rodovias usando uma abordagem fuzzy baseada no método de inferência de Mamdani

Felipe Goulart Moraes¹, André Bairros Peres², Antonio Cesar Germano Martins¹

¹UNESP - Univ Estadual Paulista

²Instituto Federal de São Paulo – IFSP

fgoulartm@yahoo.com.br; andreperes.ifsp@gmail.com; amartins@sorocaba.unesp.br

Resumo. A análise da cobertura do solo no entorno de rodovias permite o acompanhamento e, quando necessário, a tomadas de ações que diminuam, compensem ou mesmo eliminem impactos devido à ocupação humana. Considerando-se a necessidade de se utilizar sistemas computacionais que auxiliem nesta análise, pode-se extrair características de cor e textura para o reconhecimento de padrões que levem a classificação das regiões presentes. Devido às complexidades e detalhes em uma imagem de alta resolução, a abordagem fuzzy pode contribuir para o processo. Porém, embora a inferência fuzzy de Mamdani tenham mostrado bons resultados em diversas áreas, esta não tem sido empregada na classificação de coberturas de terrenos. Assim, este trabalho apresenta os resultados da implementação de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani para se obter o grau de pertinência de coberturas do solo do entorno da Rodovia Raposo Tavares na região urbana da cidade de Sorocaba a partir da análise de uma imagem aérea. Dos resultados obtidos pode-se perceber a adequação da abordagem proposta.

Palavras-chaves: processamento de imagens, cor, textura, sistema de inferência fuzzy, Mamdani.

1 Introdução

Com a construção de estradas, abrem-se caminhos para o deslocamento de pessoas e materiais dos mais diversos tipos, permitindo o desenvolvimento de regiões. No entanto, com o passar do tempo, ocorre a ocupação das áreas próximas a rodovia que podem causar impactos importantes que afetem uma grande área no sentido de aumentar os riscos para a preservação dos recursos naturais, bem como a degradação ambiental e social [1][2][3]. Neste contexto, para que sejam realizadas ações que permitam diminuir, compensar ou mesmo eliminar tais impactos, torna-se importante que sejam identificados os tipos de ocupação dos terrenos nos entornos das rodovias.

Considerando-se as grandes extensões das rodovias brasileiras, da ordem de 96 mil quilômetros de malha federal pavimentada e principais rodovias, esta identificação deve ser a mais automática possível, permitindo que sejam realizados estudos abrangentes, inclusive em séries temporais, possibilitando-se a identificação de

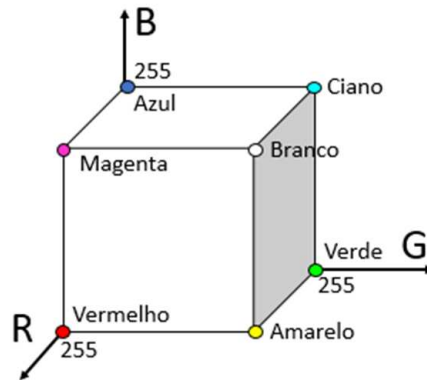
tendências e a construção de indicadores ambientais referentes aos recursos naturais, podendo, portanto, subsidiar análises e avaliações de impacto ambiental [4].

A extração de características de imagens aéreas de coberturas do solo tais como cor e textura tornam possível o reconhecimento de padrões, e estes podem levar à classificação do solo.

Basicamente, um modelo de cor é um sistema de coordenadas onde cada cor de um pixel de uma imagem é representada por um ponto em um espaço, geralmente tridimensional [5].

No modelo RGB as cores são separadas nos componentes espectrais vermelho, verde e azul, representadas em um sistema de coordenadas cartesiano conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Cubo de cores RGB.



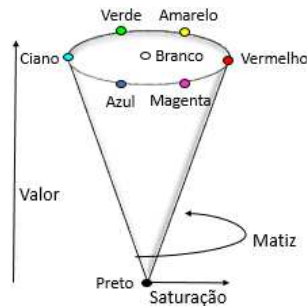
Já no modelo HSV, a cor é dividida em: Matiz (**H**ue) que descreve uma cor “pura”, ou seja, sem a mistura com outras cores, Saturação (**S**aturation) que traz a informação do grau de mistura da matiz com a luz branca, e o Valor (**V**alue) que está associado a intensidade presente. O sistema HSV é apresentado na figura 2.

No modelo HSV as informações relacionadas à intensidade luminosa e a cor são desacopladas, permitindo que se trabalhe com as componentes matiz e saturação de forma a se aproximar da maneira que o ser humano descreve as cores.

Já a textura em uma imagem está relacionada à distribuição das cores, ou tons de cinza dos pixels presentes em uma região.

Dentre os vários métodos para a análise de textura se destaca o proposto por Haralick, Shanmugan e Dinstein [6] que é baseado em uma abordagem estatística através de 14 medidas calculadas a partir da Matriz de Coocorrência, também denominada *Grey Level Cooccurrence Matrix* (GLCM), que traz a frequência $P(i,j,d,\theta)$ de ocorrência de um par de valores de pixels i e j a uma distância d na direção θ .

Figura 2. Modelo de cores HSV



Considerando-se ainda a complexidade em se analisar imagens aéreas, uma vez que existem muitos detalhes presentes e regiões de diversos tamanhos e formatos, a classificação de um pixel depende não só de suas características, mas também daquelas referentes ao seu entorno. Desta forma, uma análise baseada em lógica booleana pode levar a uma classificação prematura de um pixel ou região. Assim, o uso de uma classificação que possibilite se associar graus de aderências às várias classes, de forma a se determinar a posteriori a classificação final, é uma abordagem interessante que deve levar a resultados mais próximos daqueles obtidos pela avaliação humana.

A lógica fuzzy pode ser vista como uma generalização da lógica tradicional, proporcionando uma ampla variedade de ferramentas para se trabalhar a subjetividade e os conceitos vagos ou incertos na representação do conhecimento e na análise de decisão. Deve-se ainda considerar que o uso de uma abordagem fuzzy permite que se incorpore ao método de classificação, conhecimentos relativos da própria avaliação humana.

Um modo de aplicar a lógica fuzzy é através da geração de um sistema de inferência que avalia um conjunto de regras que são proposições da forma “Se x é A e y é B , então z é C ”.

Das abordagens fuzzy utilizadas em diversas áreas, embora aquelas baseadas no método de inferência fuzzy de Mamdani tenham mostrado bons resultados na área ambiental [7][8] [9], esta não tem sido empregada na classificação de coberturas de terrenos.

Assim, considerando que a cor e a textura são duas características que permitem distinguir diferentes regiões, este trabalho apresenta os resultados da implementação de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani para se obter o grau de pertinência de coberturas do solo no entorno da Rodovia Raposo Tavares na região urbana da cidade de Sorocaba a partir da análise de uma imagem aérea.

2 Materiais e métodos

As imagens utilizadas neste trabalho para a construção e testes do sistema foram de fotos aéreas de alta resolução da região do entorno da Rodovia Raposo Tavares, entre os quilômetros 100 e 94 na cidade de Sorocaba do ano de 2000. Os tipos de cobertura analisados foram: solo exposto, vegetação rasteira, vegetação arbórea, industrial e residencial.

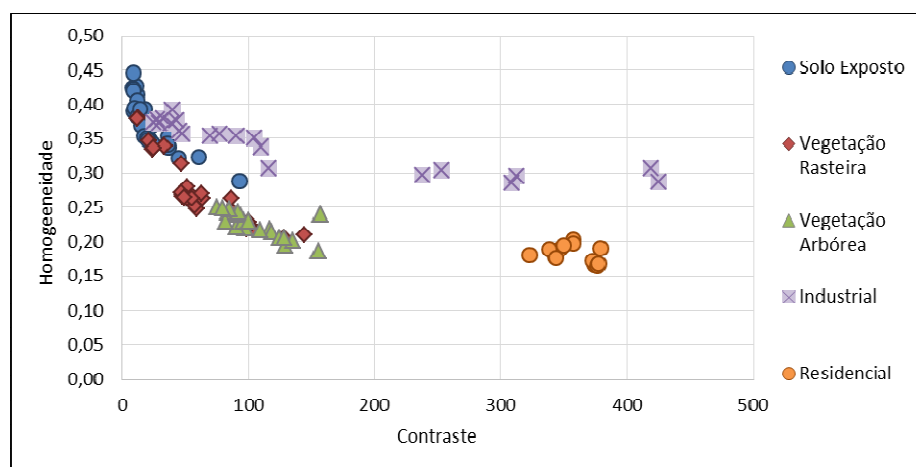
A construção do sistema de inferência foi realizada a partir da análise de 112 regiões do entorno da rodovia sendo 28 amostras de solo exposto, 28 de vegetação rasteira, 21 de vegetação arbórea, 21 de área industrial e 14 de área residencial.

Para a caracterização das texturas em cada amostra obteve-se a partir das matrizes de coocorrência os parâmetros de correlação, contraste, energia e homogeneidade.

No caso da caracterização da cor, inicialmente as imagens foram transformadas do sistema RGB para o HSV e cada canal analisado, sendo que para se evitar valores extremos, foram retirados os *outliers* [10], tomando-se como base o limiar de dois desvios padrões da distribuição dos valores dos pixels.

Em seguida, foram construídos e analisados gráficos para a visualização da dispersão de todos os parâmetros de cor e textura, escolhendo-se aqueles que levassem a uma melhor discriminação das coberturas. A Figura 3 apresenta um exemplo de um dos gráficos utilizados.

Figura 3. Gráfico de dispersão da homogeneidade em função do contraste.



No caso do presente estudo, após análise exaustiva, escolheu-se os seguintes parâmetros: contraste, homogeneidade, matiz, saturação e intensidade.

As funções de pertinência do sistema foram construídas com base na análise dos gráficos de dispersão dos parâmetros selecionados, observando-se os intervalos nos quais os valores dos tipos de cobertura estavam situados.

Da mesma forma, o conjunto de regras (Tabela 1) foi construído a partir das análises dos gráficos de dispersão, sendo que os pesos utilizados para as regras foram

definidos de forma a se reforçar aquelas que melhor diferenciavam as regiões e pesos menores para as associadas a maior indefinição.

Tabela 3. Conjuntos de regra para o sistema de inferência fuzzy.

<i>Matiz</i>	<i>Saturação</i>	<i>Contraste</i>	<i>Homogeneidade</i>	<i>Intensidade</i>	<i>Peso</i>	<i>Saída</i>
Solo	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Alto	1
	Baixo	Médio	Baixo	Alto	Alto	1
	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Alto	1
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Alto	1
	Baixo	Alto	Baixo	Médio	Médio	0,5
	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Médio	0,5
	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Alto	1
Veg. Rasteira	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	1
	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	1
	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	Médio	0,25
	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Médio	0,33
	Baixo	Médio	Baixo	Alto	Médio	0,25
	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Médio	0,25
	Baixo	Médio	Médio	Médio	Médio	0,33
	Baixo	Médio	Médio	Alto	Médio	0,25
	Médio	Médio	Baixo	Baixo	Médio	0,5
	Médio	Médio	Baixo	Médio	Médio	1
	Médio	Médio	Baixo	Alto	Médio	0,5
	Médio	Médio	Médio	Baixo	Médio	0,25
	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	0,5
Médio	Médio	Médio	Alto	Médio	0,33	
Veg. Arbórea	Médio	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	1
	Médio	Médio	Médio	Baixo	Baixo	1
Industrial	Baixo	Médio	Alto	Médio	Alto	0,5
	Baixo	Médio	Alto	Alto	Alto	0,5
	Médio	Baixo	Baixo	Alto	Alto	0,01
	Médio	Baixo	Médio	Médio	Alto	0,33
	Médio	Baixo	Médio	Alto	Alto	0,5
	Médio	Médio	Médio	Médio	Alto	0,25
	Médio	Médio	Médio	Alto	Alto	0,33
	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Alto	0,33
	Alto	Baixo	Baixo	Alto	Alto	0,5
	Alto	Baixo	Médio	Médio	Alto	0,5
	Alto	Baixo	Médio	Alto	Alto	1
	Alto	Médio	Baixo	Médio	Alto	0,25
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Alto	0,33
	Alto	Médio	Médio	Médio	Alto	0,33
	Alto	Médio	Médio	Alto	Alto	0,5
Residencial	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Médio	1
	Médio	Médio	Alto	Baixo	Médio	1
	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Médio	1
	Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	1

Para a construção do sistema de inferência fuzzy de Mamdani utilizou-se o Toolbox Fuzzy do MATLAB com a defuzzificação pelo centroide.

Após a verificação da efetividade do sistema de inferência, avaliando-se um conjunto de testes construídos a partir da extração de imagens de regiões do entorno da rodovia, foi desenvolvido um programa para a avaliação fuzzy de uma área de estudo.

Para isto, realiza-se a varredura na imagem de entrada aplicando-se uma máscara de 40x40 pixels em cada pixel desta, com exceção daqueles que estejam na região da borda definida por tiras de 20 pixels de largura. Em cada posicionamento da máscara são retiradas as características de cor e textura, sendo estes valores inseridos no sistema fuzzy construído, obtendo-se a classificação do pixel base naquela posição da imagem sendo analisada. Com isto, ao final do processo, a cada pixel da imagem de entrada é atribuído um valor entre 0 e 1.

3 Resultados

O sistema apresentado na seção anterior foi utilizado para classificar as coberturas do solo de uma região em torno da Rodovia Raposo Tavares na área urbana da cidade de Sorocaba no ano de 2000 (Figura 4), obtendo-se como resultado a imagem na Figura 5 que apresenta a saída fuzzy.

Figura 4. Imagem do entorno da Rodovia Raposo Tavares, entre os quilômetros 100 e 94, na cidade de Sorocaba no ano de 2000.



Nota-se que qualitativamente o resultado traz a informação dos diferentes tipos de cobertura, de acordo com as 5 categorias consideradas neste trabalho, sendo possível, a partir da contagem dos pixels nas faixas dos valores de saída, se obter uma estimativa da forma como está sendo ocupado o solo no entorno da rodovia.

Deve-se destacar que neste trabalho, inicialmente, não se tratou os pixels pertencentes às vias públicas (rodovia e ruas adjacentes). No entanto, como o sistema atribuiu-lhes valores entre as áreas residencial e industrial, devido às características de cor e textura presentes, praticamente é gerada uma nova categoria que aparece segmentada na Figura 5 e que abrange estas vias, além de regiões de estacionamento.

As áreas residenciais são bens destacadas, mesmo havendo complexidades relativas ao entrelaçamento de diversas categorias nestas localidades.

Figura 5. Imagem com a classificação das coberturas presentes obtida pelo sistema fuzzy.



Com relação as área de vegetação arbórea, vegetação rasteira e solo exposto, o sistema apresenta um bom resultado na classificação como se pode verificar ao se analisar os recortes da mesma região das imagens da Figura 4 e Figura 5 que são apresentadas na Figura 6.

Figura 6. Recortes da mesma área da Figura 4 (original) e Figura 5 (classificada pelo sistema).



4 Conclusões

Os resultados obtidos mostram a aplicabilidade do uso de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani para a classificação de coberturas de solos em imagens de alta resolução.

O sistema proposto foi construído a partir da escolha e a análise de parâmetros de cor e textura presentes na imagem, que permitiram a definição das funções de pertinência e a base de regras.

Devido às complexidades presentes em uma imagem de alta resolução, a abordagem fuzzy parece de fato ser a mais indicada, uma vez que permite tratar incertezas, ambiguidade e imprecisões, além de incorporar as avaliações do ser humano.

Agradecimentos: Ao apoio da FAPESP a um dos autores para o desenvolvimento do trabalho, processo nº2014/20585-6.

Referências

1. Avena, R.C.S. Construções Rodoviárias, Bacias Hidrográficas, Geração de Passivos Ambientais e Riscos Associados: O Caso da Rodovia RJ-165 - Paraty-Cunha. 2003. 256 f. Monografia apresentada Programa de Pós-graduação em Engenharia para obtenção de Mestrado em Engenharia Ambiental. Dissertação - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ. (2003)
2. Magalhães, I.A.L.; Martins, R.F.; Santos, A.R. Identificação dos impactos ambientais relacionados à pavimentação da rodovia MG307 no município de Grão Mogol – MG. Revista Verde. v.6, n.5, p.10. (2011)
3. Polidoro, M.; Barros, M.V.F.; Lollo, J.A.; Marchetti, M.C. Análise Multitemporal da evolução da mancha urbana no entorno da BR-369 dos municípios paranaenses. Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre. Julho 25-31, 2010. p. 1-10. (2010)
4. Bandeira, C.; Floriano, E.P.; Avaliação de Impacto Ambiental de Rodovias - Anorgs. Caderno Didático nº, 8 1ªed. Santa Rosa. (2004)
5. Gonzalez, R.C.; Woods, R.E.; Processamento de Imagens Digitais. 1ªed. Bluncher. (2000).
6. Haralick, K.; Robert M.; Shanmugam, K.; Dinstein, I. Textural Features for Image Classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics . V. 3:6, p. 610 – 621. (1973)
7. Akguna, A.; Sezerb, E.A.; Nefesliogluc, H.A.; Gokceoglu, C.; Pradhane, B. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. Computers & Geosciences. V. 38(1), pp. 23–34. (2012).
8. Içaga, Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. Ecological Indicators. V. 7(3), p.710–718. (2007)
9. Lourenço, R.W.; Landim, P.M.B.; Rosa,A.H.; Roveda, J.A.F; Martins, A.C.G.; Fraceto,L.F. Mapping soil pollution by spatial analysis and fuzzy classification. Environmental Earth Sciences. v. 60, p. 495-504. (2010).
- 10.Figueira, M. M. C. Identificação de Outliers. Instituto Politécnico de Viseu, 1998. Disponível em <http://www.ipv.pt/millennium/arq12.htm>. Acesso em 20 de fev. de 2016.