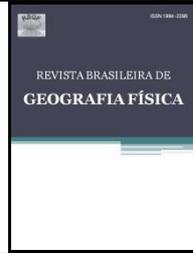




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Extração de Contornos de Cultura de Cana-de-Açúcar em Imagens TM – Landsat 5 na Bacia do Alto Rio Paraguai

Paulo Henrique Hack de Jesus¹, Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin²

¹ Graduado em Ciência da Computação pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Rua A, s/n, Bairro Cohab São Raimundo, CEP: 78390-000 – Barra do Bugres – MT, Brasil, email: ph_hack@hotmail.com

² Professora. Dra. do Departamento de Matemática e do Programa de Pós Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Rua A, s/n, Bairro Cohab São Raimundo, CEP: 78390-000 – Barra do Bugres - MT, Brasil, email: galvaninbbg@unemat.br

Artigo recebido em 05/11/2012 e aceito em 14/05/2013

RESUMO

Metodologias de extração de contornos são de fundamental importância no contexto de mapeamento e atualização de Sistemas de Informação Geográfica. Este trabalho propõe uma metodologia para a extração de contornos de cultura de cana-de-açúcar em imagem TM - Landsat 5 do ano de 2008, foram usadas as técnicas de realce de imagem, divisão recursiva através da estrutura Quadtree e difusão anisotrópica via Equações Diferenciais Parciais. A motivação desta pesquisa é que a área utilizada neste trabalho situa-se na Bacia do Alto Rio Paraguai, Mato Grosso, Brasil. Esta bacia abrange a região alagada conhecida como Pantanal e apresenta uma expansão intensiva do cultivo de cana-de-açúcar. No âmbito desse trabalho a extração de contorno da cultura de cana-de-açúcar, devido à complexidade da cena, requer o desenvolvimento de métodos específicos na imagem de sensoriamento remoto, que permite obter o objeto de interesse. Os resultados preliminares mostraram que a metodologia proposta é promissora para a aplicação envolvendo extração de culturas, porque tornou possível a extração de regiões normalmente relacionadas com a cultura da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: processamento de imagens, divisão recursiva, Bacia Hidrográfica.

Sugarcane Contour Extraction from TM - Landsat 5 Image in the Upper Paraguay River Basin Region

ABSTRACT

Contour extraction methodologies are of fundamental importance in the context of mapping and updating for Geographic Information Systems applications. This paper proposes a methodology for the extraction of sugarcane culture contour from TM - Landsat 5 image from 2008, by image enhancement, recursive splitting technique by Quadtree structure, region merging and non-linear anisotropic diffusion via Partial Differential Equation. The motivation of this research is that the area test used in this paper is situated in the Upper Paraguay River Basin, Mato Grosso State, Brazil, this basin encompasses the floodplain region known as Pantanal. This area presents an expansion of sugarcane cultivation. In the scope of our research, contour extraction of sugarcane culture, due to scene complexity, requires the development of specific methods in the Remote Sensing image that permit to obtain the interest object. The preliminary results showed that the proposed methodology is promising for application involving extraction of cultures, because it has made possible the extraction of regions usually related to sugarcane culture.

Key-words: image processing, recursive splitting, hydrographic basin.

1. Introdução

Com o avanço tecnológico, a área de Processamento Digital de Imagem (PDI) tem se tornando cada vez mais abrangente. Técnicas de PDI, são utilizadas em imagens de diversas fontes. No sensoriamento remoto essas técnicas são utilizadas para diversos fins, dentre eles, análise do uso da terra, controle de desmatamento e queimadas, monitoramento e estimativa de produção agrícola e análises e previsão de fenômenos meteorológicos.

Isso tudo se tornou possível não só devido aos métodos desenvolvidos para PDI usados para obter dados segundo cada finalidade, mas também pelo avanço das tecnologias empregadas na obtenção destas imagens, ou seja, na evolução dos sensores e satélites usados para a geração destas imagens. Os sensores agora, por exemplo, captam diversas faixas espectrais e possuem resoluções melhores, tanto espaciais quanto temporais.

Várias pesquisas e estudos têm sido feito quanto ao uso do processamento de imagens e sensoriamento remoto para análise de áreas de produção agrícola. Tais estudos se utilizam das informações oferecidas pelos sensores de satélites na tentativa de suprir a necessidade cada vez maior de instituições públicas e privadas envolvidas com o setor agrícola em técnicas avançadas de agricultura de precisão, podendo mudar a forma que os produtores gerenciam suas terras (Pinter Jr. et al., 2003).

Galvão et al. (2005) usaram imagens do sensor Hyperion/EO-1, convertidas para

imagens de reflectância da superfície para discriminar cinco variedades de cana-de-açúcar usando, além das reflectâncias das bandas, vários índices espectrais e análise discriminante múltipla, alcançando 87,5% de acurácia na discriminação das variedades. Rizzi e Rudorff (2007) estimaram a produtividade de soja no Rio Grande do Sul, nas safras de 2000/2001 a 2002/2003, por meio de um modelo agrônômico implementado em um SIG, a fim de se verificar a contribuição dos valores de índice de área foliar, calculados a partir das imagens do sensor MODIS .

Rudorff et al. (2010) usaram imagens do satélite CBERS 2 e 2B e do satélite Landsat 5 e o software SPRING, para estimar a área de plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e ainda identificar quais usaram queimada para a colheita. Mello et al. (2010) propuseram uma metodologia de classificação automática, utilizando a técnica de Modelo Linear de Mistura Espectral, para identificar as áreas de cana-de-açúcar colhidas com e sem queima.

Portanto, torna-se extremamente interessante não só o estudo de métodos já conhecidos para seu aperfeiçoamento, mas também o desenvolvimento de novos métodos para serem aplicados ao processamento de imagens. No caso deste artigo, o objetivo foi desenvolver uma metodologia para classificação semiautomática de áreas de cultura de cana-de-açúcar com imagens

Landsat 5 na região sudoeste do estado de Mato Grosso, mais precisamente, no município de Barra do Bugres, usando uma estrutura de dados baseada no Quadtree em função das variações de tonalidades dos pixels e a extração de bordas via difusão anisotrópica.

1. Material e Métodos

1.1 Material

A área selecionada para o estudo está localizada no sudoeste do estado de Mato Grosso, pertencente a zona rural do município de Barra do Bugres. Uma região ao norte da cidade, bastante usada para o cultivo de cana-de-açúcar, onde se verifica a presença de talhões de cana-de-açúcar, usados principalmente para a fabricação de biocombustível e açúcar. A Figura 1 mostra a área escolhida e sua localização.

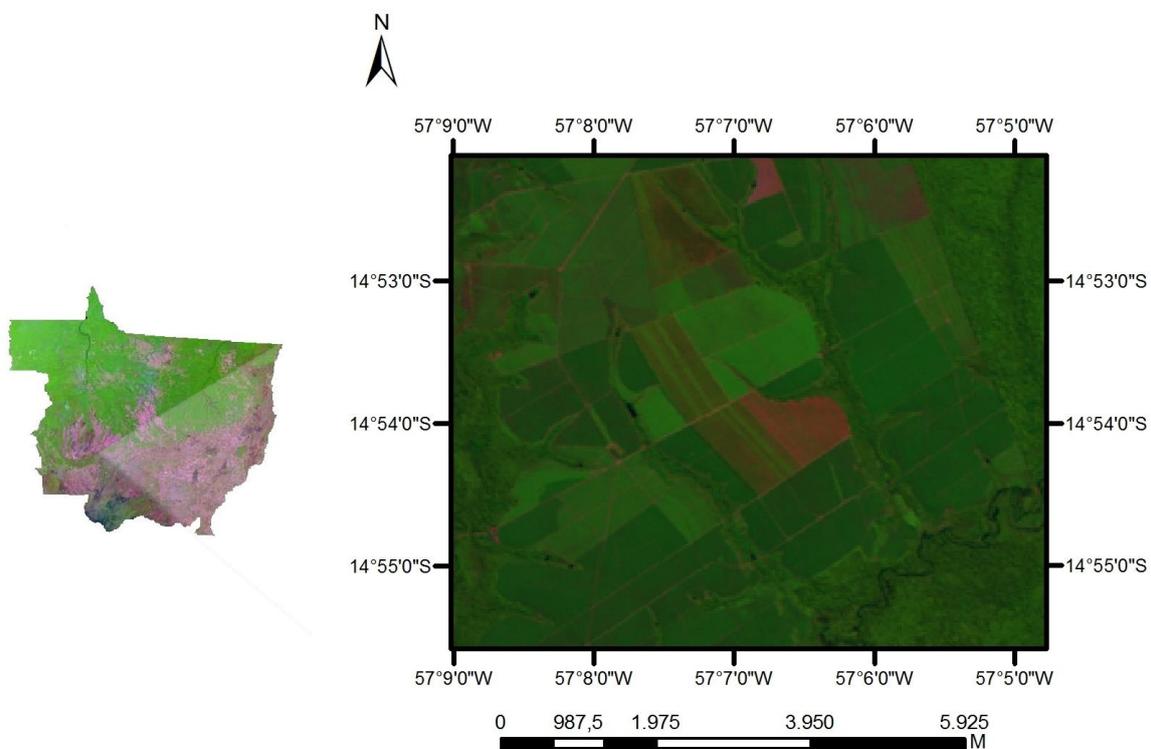


Figura 1. Localização da área de estudo. Imagem Landsat - 5 - 5R4G3B.

Foi utilizada uma imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 (Landsat TM 5, 1987-1988), datada de 06/05/2008, órbita 227 ponto 70, período que antecede o início da colheita da cana. Esta imagem é uma composição das bandas 5, 4 e 3, ou seja, a falsa cor 5R4G3B. Estas imagens foram adquiridas junto ao

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) gratuitamente para fins de pesquisa. Uma função de realce foi aplicada na imagem com o propósito de destacar os vários objetos que fazem parte da imagem, dentre eles as culturas de cana-de-açúcar. Os algoritmos para obtenção da função de realce, o método

do Quadtree e a identificação das culturas foram desenvolvidos na linguagem de programação C++, utilizando o framework da Nokia, Qt versão (Nokia, 2008).

Além disso, foi usada a metodologia baseada em difusão anisotrópica via Equações Diferenciais Parciais (EDP) para a detecção das bordas dos talhões de culturas usados para visualizar e analisar os resultados obtidos.

1.2 Métodos

2.2.1 Função de realce

Antes de iniciar o processo que usa a estrutura de dados baseados no Quadtree, foi aplicada na imagem (isto é, em cada uma das 3 bandas) uma função de realce. Desta forma, todos os objetos na imagem ficaram mais evidentes. O realce aplicado teve como objetivo diferenciar a cultura de cana da floresta, facilitando e propiciando um maior sucesso na identificação da cultura de cana-de-açúcar na imagem. A Figura 2 mostra o resultado obtido quando se aplica a função de realce.

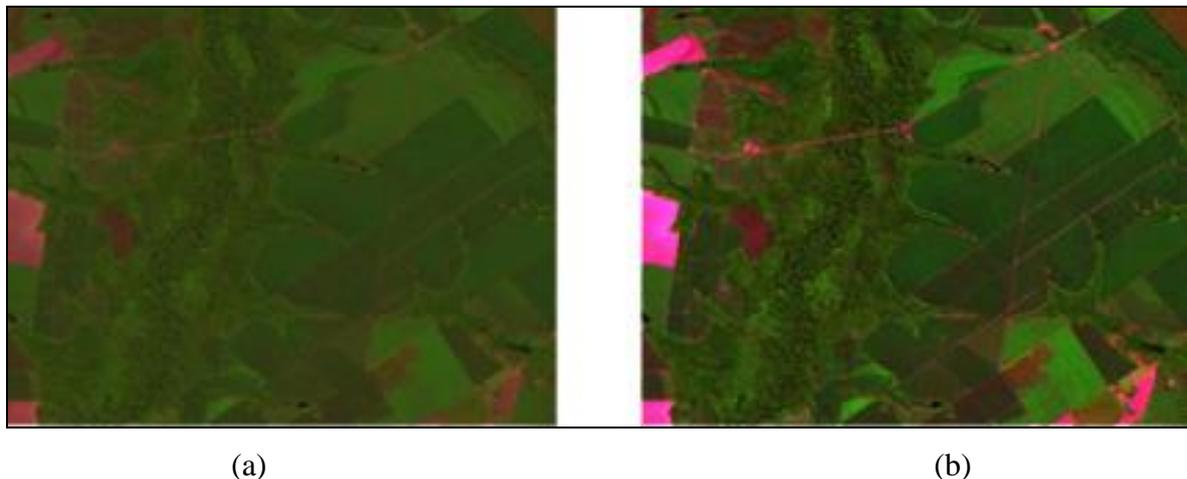


Figura 2. (a) Imagem original. (b) Imagem após a aplicação do realce.

A função de realce foi obtida através da seguinte fórmula:

$$C(x) = \frac{(x - m)}{m} \cdot \frac{x}{a} + x$$

onde C é a função que para cada valor de pixel (x) da imagem original gera um novo valor de pixel (C(x)) para a imagem realçada, a é um valor maior que zero e determina o grau de realce, quanto menor o valor de a, maior é o grau de realce, m é um valor médio

dos pixels e é obtido através da análise de todos os pixels da imagem original.

Para a obtenção da imagem de realce inicialmente efetuou-se a diferença entre o maior e o menor pixel dividido por dois. Então foi analisado quantos pixels eram maiores que esse cálculo e quantos eram menores. Caso houvessem mais pixels de maior valor, acrescentava-se uma unidade ao valor obtido e esta análise era feita novamente, em relação ao novo valor analisado. Este procedimento é repetido até

que a diferença entre o número de pixels de maior valor e o número de pixels de menor valor seja no máximo de uma unidade. Neste ponto, encontra-se o valor de m . O procedimento para encontrar m é necessário, pois se fosse usado m como uma média aritmética simples, por exemplo, imagens escuras ficariam ainda mais escuras mesmo se houvesse apenas um único pixel claro. Desta forma a função de realce torna-se eficaz para o propósito deste trabalho.

2.2.2 Quadtree

O Quadtree pode ser definido como a uma estrutura de árvore, onde cada nó possui quatro ramos, para representar as subdivisões de uma imagem em um conjunto de regiões arbitrárias e disjuntas, onde a divisão das regiões satisfazem as seguintes condições. Segundo Gonzalez & Woods (2000) a segmentação de uma região R pode ser vista como um processo de particionamento de R em n regiões R_1, R_2, \dots, R_n tal que,

- 1) $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$, isto é a segmentação deve ser completa;
- 2) R_i é uma região conexa, $i = 1, 2, \dots, n$;
- 3) $R_i \cap R_j = \emptyset$ para todo i e j , $i \neq j$, significando que as regiões devem ser disjuntas;

4) $P(R_i)$ VERDADEIRO para $i = 1, 2, \dots, n$, se todos os pixels em R_i possuírem a mesma propriedade P e

5) $P(R_i \cup R_j)$ FALSO para $i \neq j$, se as regiões R_i e R_j são diferentes no sentido da propriedade P .

A propriedade P é utilizada como um atributo sobre os pontos do conjunto R_i . A inclusão de um pixel depende da propriedade P , a qual pode ser construída de acordo com algum conhecimento a priori sobre o objeto de interesse. No caso de uma imagem quadrada, uma abordagem para a segmentação de R é subdividi-la sucessivamente em quadrantes cada vez menores de maneira que, para qualquer região R_i , $P(R_i)$ VERDADEIRO. Ou seja, se $P(R_i)$ FALSO, então divide-se esta região em quadrantes. Se P for falso para qualquer quadrante, subdivide-se em subquadrantes, e assim sucessivamente.

Desta forma, as folhas desta árvore são os quadrantes que satisfazem à propriedade P . O Quadtree também é usado na compactação de imagens, na triangulação de terrenos em 3D (Pajarola, 2002) e na detecção de padrões, como por exemplo, telhados (Galvanin et al., 2007). A Figura 3 ilustra esta estrutura.

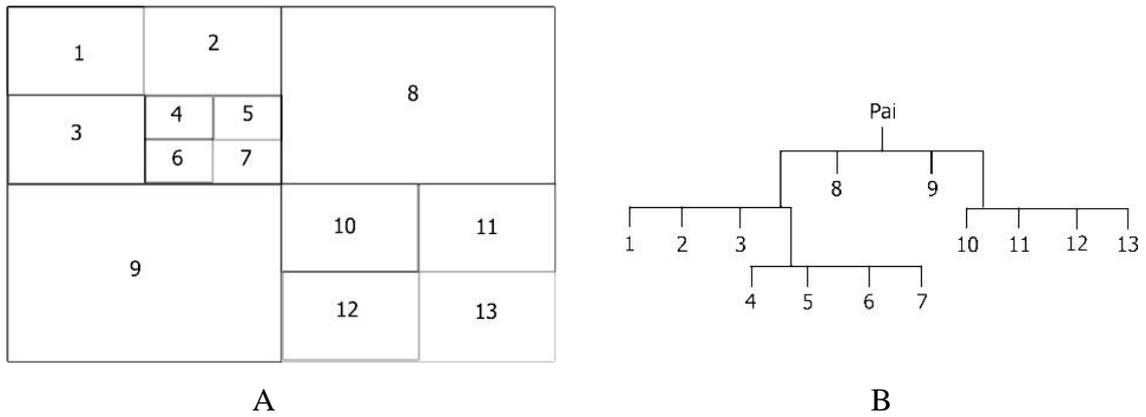


Figura 3. Exemplo da estrutura do Quadtree. (a) Quadrantes. (b) Estrutura em árvore.

A propriedade P , no caso deste trabalho, representa o grau de homogeneidade da região ou quadrante quanto aos valores dos pixels, e foi construída com base em uma constante, que será chamada de k . Inicialmente, encontra-se o pixel médio do quadrante pela razão entre a soma de todos os pixels e o número total de pixels daquele quadrante. Então analisa-se pixel por pixel verificando se a diferença entre o valor do pixel e o valor do pixel médio é maior ou não em relação a k . Se para todos os pixels do quadrante que está sendo analisado esta diferença for menor ou igual a k , então considera-se que o quadrante satisfaz a propriedade P e ele não será dividido novamente em quatro quadrantes. Caso a diferença seja maior que k para pelo menos um dos pixels, então ele não satisfaz a propriedade P e é dividido em quatro outros quadrantes e a análise de P recomeçará com o primeiro dos novos quadrantes.

O algoritmo não cria a estrutura de árvore do Quadtree, mas sim, uma lista (vetor) com todos os quadrantes resultantes do processo de divisão da imagem, ou seja, os quadrantes

que satisfizeram a propriedade P . A partir desta lista é gerada uma imagem com todos os quadrantes cada qual contendo a mesma tonalidade do pixel médio. Para a obtenção desta imagem, usou-se k igual a cinco, pois foi o que apresentou o melhor resultado quanto ao tamanho dos quadrantes e, conseqüentemente na classificação das culturas.

2.2.3 Variações de tonalidades dos pixels

Uma vez obtida a imagem do Quadtree realiza-se a identificação dos quadrantes que fazem parte do objeto na imagem que se quer identificar, ou seja, a cultura de cana-de-açúcar. Para tanto, foi feita uma análise supervisionada na imagem do Quadtree para obter a faixa de variação de tonalidades dos pixels dessa cultura. Verificou-se também a existência de dois tipos distintos de cultura, uma com tonalidade em um verde mais forte, o que indica uma vegetação em um estágio mais avançado de desenvolvimento, e outra em uma tonalidade verde mais claro, ou seja uma vegetação mais nova. A Figura 4 mostra

esses dois padrões encontrados na imagem de estudo.

Analisando cada um dos padrões, obteve-se o valor do pixel mais alto e o mais baixo para cada uma das três bandas (RGB) da imagem. Assim foi obtida a variação de tonalidade para cada padrão de cana. Para a cana mais desenvolvida, cana 1, verificou-se

que para a faixa do vermelho (R) o menor valor do pixel é 25 e o maior é 38, para a faixa do verde (G), a variação é de 57 até 86 e na faixa do azul (B) é de 10 a 18. Já para a cana mais nova, chamada de cana 2, as variações nos pixels para as faixas do vermelho, verde e azul, foram respectivamente, 43 a 69, 85 a 160 e 13 a 25.

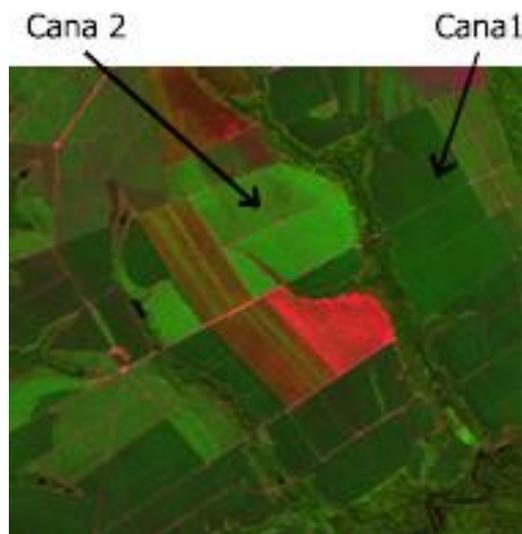


Figura 4. Padrões de culturas de cana-de-açúcar.

2.2.4 Difusão Anisotrópica via EDP

No detector de difusão anisotrópica podem ser identificadas 2 etapas básicas: suavização seletiva e diferenciação. A suavização consiste em gerar, através do processo de difusão anisotrópica, uma imagem suavizada sem, no entanto, deslocar as estruturas de bordas da imagem. Na segunda etapa é empregada uma estratégia simples de detecção de bordas da imagem suavizada. Maiores detalhes dessa teoria podem ser encontrados em Galvanin & Silva (2005), Barcelos et al. (2002) e Perona & Malik (1990).

A detecção de bordas usando a difusão anisotrópica via EDP não é um processo completo, visto que a saída do processo é uma imagem de bordas espessas as quais não estão prontas para ser vetorizadas. Para obter as bordas afinadas na sequência são aplicadas as técnicas para a extração de contornos poligonizados de regiões. Essas técnicas são bem documentadas na literatura, podendo-se citar Jain et al. (1995) como uma das referências relevantes.

2. Resultados e discussão

Essa seção tem por finalidade apresentar os resultados obtidos com a metodologia de extração de contornos de regiões de culturas

de cana-de-açúcar. A Figura 5 mostra o resultado obtido através do algoritmo Quadtree, na imagem falsa cor após a etapa de realce, para a região em análise e, em destaque, para uma sub-região.

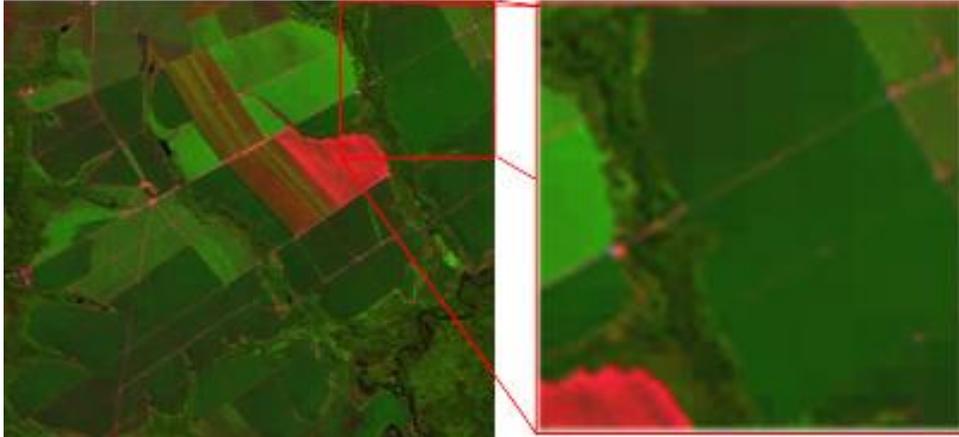
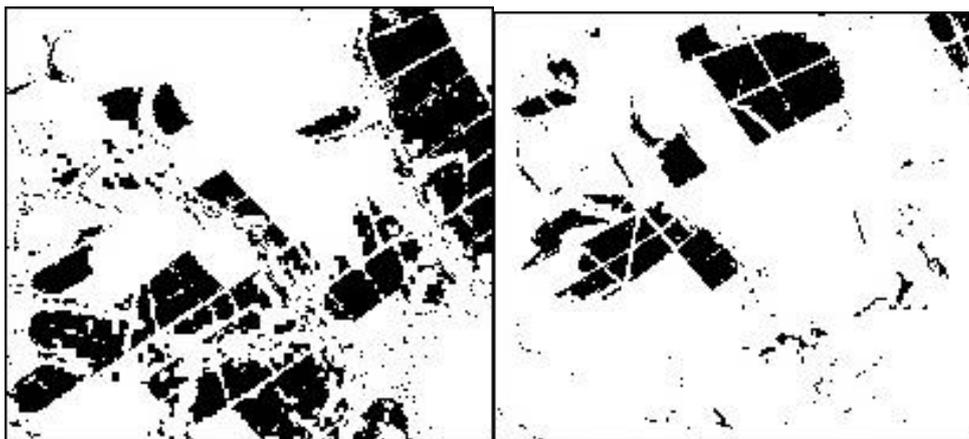


Figura 5. Imagem resultante do Quadtree.

Usando a informação dos valores dos pixels, duas novas imagens binárias foram geradas (Figura 6), uma contendo somente os quadrantes que possuíam valores dentro da

faixa da cana 1, e a outra contendo apenas os quadrantes cujos valores estavam na faixa da cana 2.



(a)

(b)

Figura 6. Imagens binárias contendo somente os quadrantes para cada tipo de cana. (a) Cana 1. (b) Cana 2.

O resultado do processo de detecção de bordas utilizando a difusão anisotrópica via EDP seguida dos processos de poligonização e vetorização é também uma imagem binária

com bordas afinadas (com espessura de 1 pixel). A extração de contornos foi aplicada nas imagens da cana 1 e 2 (Figura 7).

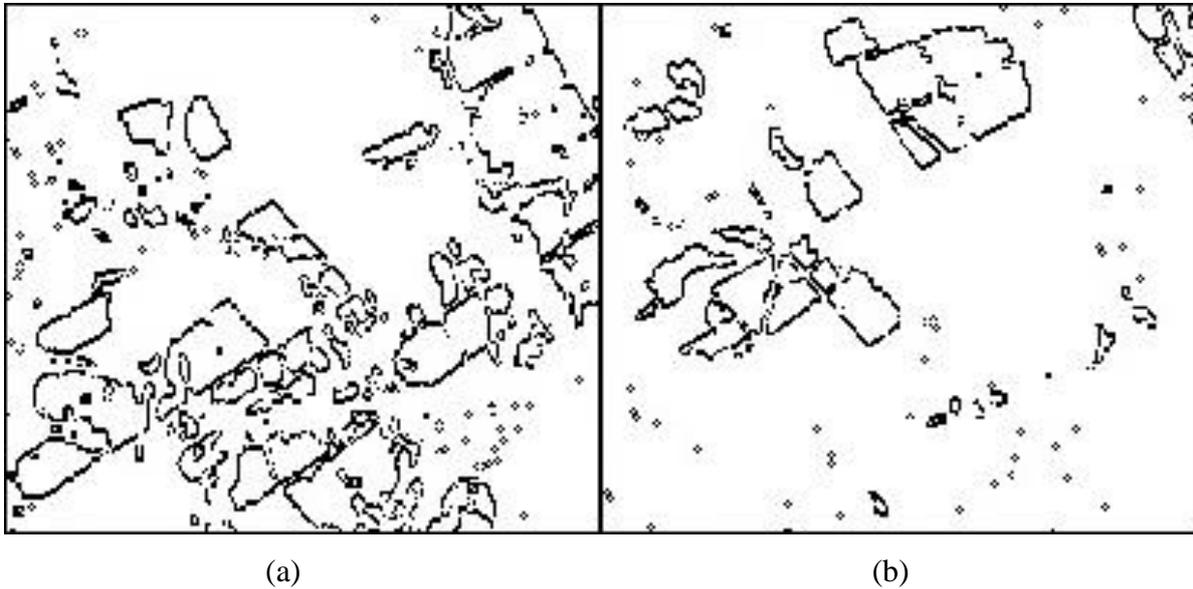
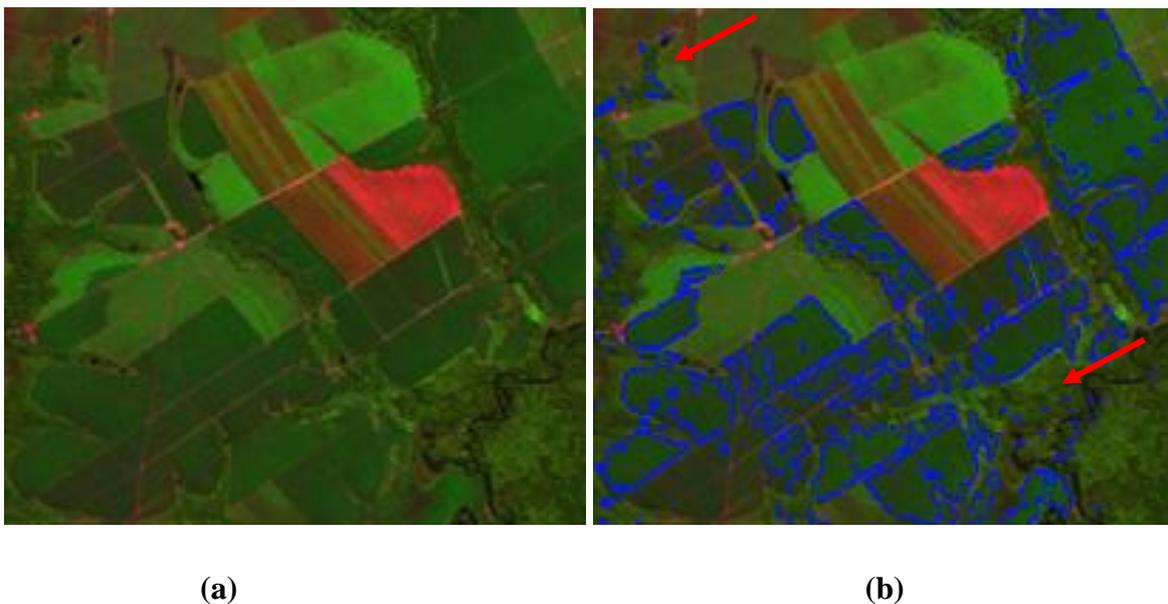


Figura 7. Imagens de bordas detectadas via difusão anisotrópica. (a) Imagem cana 1. (b) Imagem cana 2.

Após a obtenção dos contornos as bordas são sobrepostas sobre a imagem teste (com realce, Figura 8(a)) para que se possa fazer

uma análise visual da viabilidade da metodologia proposta para a extração de contornos das regiões de cultura de cana-de-açúcar.



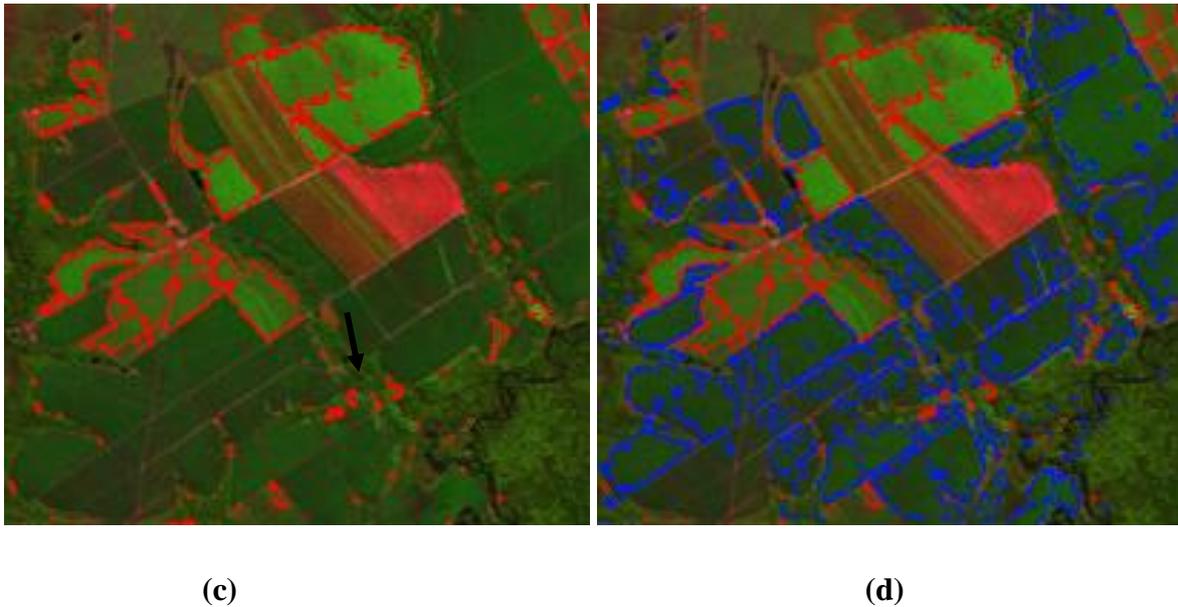


Figura 8. (a) Imagem falsa cor com realce. (b) Imagem de bordas sobreposta referente a detecção do padrão cana 1. (c) Imagem de bordas sobreposta referente a detecção do padrão cana 2. (d) Imagem com ambas as bordas.

Pequenas partes de regiões de mata também foram detectadas como sendo cana, Isso ocorreu na imagem cana 1, e também na imagem cana 2, mas com maior incidência na cana 1 (Figura 8(b)). Isso se deu porque as regiões de mata que foram classificadas como cana estão dentro da mesma faixa de variação dos pixels dos talhões de cana, ou seja, algumas tonalidades que são encontradas nas plantações também são encontradas na mata, e no caso da cana 1, a semelhança é ainda maior, por isso uma parte maior da mata foi classificada como sendo da cana 1. E como a diferença na faixa da variação da cana 2 e da mata é bem maior, pouca região de mata entrou na classificação da cana 2, como se pode observar na Figura 8(c).

Uma técnica que poderia ser usada para amenizar o problema de identificação de

padrões semelhantes é a identificação e eliminação de pixels ou conjuntos de pixels isolados que foram detectados como sendo cana 1 e que na verdade são partes de mata. Este problema poderia ser resolvido usando técnicas de reconhecimento de padrões, levando-se em consideração a textura dos objetos, pois é evidente a diferença da textura entre a mata e as culturas agrícolas. Analisando a vizinhança dos pixels, vê-se que na região de mata, a diferença entre os vizinhos é bem maior do que nos talhões de cana-de-açúcar. Logo, poderia ser usado o contexto para auxiliar a identificação da cultura.

3. Conclusões

O uso da estrutura Quadtree se mostrou completamente viável para aplicações que visam a extração de contornos de

determinados objetos em imagens, em especial, como é o caso deste trabalho, as culturas de cana-de-açúcar. Ressalta-se, porém, a necessidade de combinação com outras técnicas e métodos complementares de extração.

Com este estudo foi possível analisar a metodologia proposta visando uma extração eficaz, lembrando da importância de uma metodologia como esta para várias aplicações, como controle agrícola, tanto por órgãos do governo, quanto por iniciativas privadas, e como uma ferramenta de gerenciamento e previsão de safras. Salienta-se a importância de metodologias como essas para o mapeamento dos impactos ambientais através da verificação da expansão da cultura em áreas de preservação permanente na bacia do Alto Rio Paraguai.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao INPE pela concessão das imagens Landsat, a FAPEMAT pelo apoio na forma de bolsa de Iniciação Científica e Projeto de Pesquisa e a UNEMAT por disponibilizar a estrutura física para o trabalho.

5. Referências

- Barcelos, C. A. Z.; Boaventura, M.; Silva Jr., E. C. (2002). Well-balanced Flow Equation for Noise Removal and Edge Detection. *IEEE Trans. Image Processing*.
- Florenzano, T.G. (2002). *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- Galvanin, E. A. S.; Silva, E. A. S. (2005). Detecção de feições cartográficas utilizando equações diferenciais parciais e imagens orbitais. *Pesquisas em Geociências*, v.32, p.1 - 6.
- Galvanin, E. A. S.; Dal Poz, A. P.; Souza, A. D. P. (2007). Segmentação de dados de perfilamento a laser em áreas urbanas utilizando uma abordagem bayesiana. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.13, p.76/1 - 90.
- Galvão, L. S.; Formaggio, A. R.; Tisot, D. A. (2005). Discriminação de variedades de cana-de-açúcar com dados hiperespectrais do sensor Hyperion/EO-1. *Revista Brasileira de Cartografia*. Nº 57/016.
- IBGE. (1988). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Revista Brasileira de Estatística - RBE*; Ano 49, n. 191, p.55-84.
- Jain, R.; Kasturi, R.; Schunck, B. G. (1995). *Machine Vision*, MIT Press and McGraw-Hill, Inc New York, 549p.
- Landsat TM 5: imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais, INPE, 1987-1988. 1 fotografia aérea. Escala 1:100.000. Bandas 3, 4 e 5.

Mello, M. P.; Rudorff, B. F. T.; Vieira, C. A. O.; Aguiar, D. A. (2010). Classificação automática da colheita da cana-de-açúcar utilizando modelo linear de mistura espectral. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.62, n.2, p. 181-188.

Nokia Corporation. Qt SDK. Versão 1.2.1. [S.l.]: Nokia Corporation, 2008. Disponível em: <<http://qt.nokia.com/downloads>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

Pajarola, R. (2002). Overview of Quadtree-based terrain triangulation and visualization. Department of Information and Computer Science, University of California, Irvine.

Perona, P.; Malik, J. (1990). Scale space and edge detection using anisotropic diffusion, In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12, 7, p. 629-639.

Pinter Jr, P. J.; Hatfield, J. L.; Schepers, J. S.; Barnes, E. M.; Moran, M. S.; Daughtry, C. S. T.; Upchurch, D. R. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 69, n. 6, p. 647-664.

Rizzi, R.; Rudorff, B.F.T. (2007). Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p.73-80.

Rosa, R. (2003). *Introdução ao Sensoriamento Remoto*, Uberlândia: EDUFU.

Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. (2010). Studies of the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. *Remote Sensing*.