

**EXPANSÃO E RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DE MINERAÇÃO DE
CARVÃO A CÉU-ABERTO E DOS SÍTIOS DE REJEITOS
NA REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA**

Ricardo Wagner ad-Víncula Veado

Soraia Marinon Zardo

José Carlos Moreira

Valci Francisco Vieira

Laboratório Associado de Sensoriamento

Remoto de Santa Catarina - LARS/SC

R: Geral de Canasvieiras S/Nº, Ed. CEDRHA

Canasvieiras -Florianópolis/SC -CEP 88054

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade mostrar a evolução da mineração de carvão a céu-aberto e a recuperação das áreas mineradas e dos depósitos de rejeitos no sul de Santa Catarina no período de 1978 à 1990. Para chegar-se ao objetivo, utilizaram-se imagens LANDSAT5 TM de 1988, processadas nos SITIM-150 (Sistema de Tratamento de Imagens) fotografias aéreas de 1978 e cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Trabalhos de campo na área-teste de Siderópolis e Criciúma, complementaram a interpretação da imagem. Para a classificação da imagem utilizaram-se processos não-supervisionados (K-Média) e, após a verificação de campo, supervisionados (Max-Ver).

ABSTRACT

This paper will attempt to disclose a methodology to monitor the coal strip-mining in the Southern Santa Catarina, as well as the reclamation of the mined areas and the waste storage. The TM LANDSAT 5 images digital and spatial analysis allows to detect any changing in the landscape and to reach this goal there had been utilized the SITIM-150 (Sistema de Tratamento de Imagens-Images Treating System), the 1978 aerial photographs and the IBGE topographic mapping. Field works in the counties of Criciúma and Siderópolis had driven to the image interpretation. The TM LANDSAT 5 Image classification wore non-supervised and after the field checking, the supervised methods (maximum likelihood classification).

1. INTRODUÇÃO

A crise dos combustíveis da década de 70 impulsionou a exploração de carvão no sul de Santa Catarina e as empresas mineradoras expandiram suas atividades ocupando regiões antes usadas para

a agricultura. Apesar da importância econômica do carvão, houve uma acentuada redução da qualidade de vida local. A lentidão dos recobrimentos aéreos não permite que faça um acompanhamento da mineração, principalmente em razão da gran-

de velocidade com que se faz a ocupação do solo nestas zonas. Além disso, os altos custos de um recobrimento suprimem seu uso. Por esta razão, o sensoriamento remoto por satélite tem sido utilizado com sucesso nos Estados Unidos. No Brasil, as pesquisas desenvolvidas por Valeriano & Kux (1982), Kux & Valeriano (1982) e Valeriano (1987), realizadas no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), procuraram acompanhar as atividades mineradoras por meio de imagens MSS LANDSAT. Devido à importância do tema, o Laboratório Associado de Sensoriamento Remoto de Santa Catarina (LARS/SC) retomou aquela linha de pesquisa. O objetivo final deste trabalho é acompanhar no período de 1978 a 1990, a expansão das zonas de mineração a céu-aberto em Santa Catarina sem se preocupar com os aspectos ambientais que derivam das atividades mineradoras.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

A análise automática da imagem multiespectral TM-5 foi executada no sistema SITIM-150. Os procedimentos utilizados dividem-se em técnicas de tratamento de imagens e classificação de padrões

2.1- Metodologia

2.1.1- Tratamento de Imagens:

Criação de uma banda razão entre canais: - Através do procedimento "Operações Aritiméticas" - opção nº3: Banda C=ganho*(Banda A /Banda B)+Offset, com ganho= 42 e Offset=0; criou-se a banda razão entre TM 4/TM3, a fim de realçar as áreas com vegetação e as áreas sem cobertura de vegetação.

2.1.2- Classificação Temática dos dados TM-5

Classificação não supervisionada K-médias- para os dados TM-5 utilizou-se, preliminarmente, o classificador não supervisionado K-médias, implementado no SITIM-150 como: Treinamento Automático, a fim de se identificar as

áreas espectralmente semelhantes. Utilizou-se o número máximo de pixels distintos permitido pelo algoritmo implantado, igual a 3.000. O número de classes consideradas centros iniciais foi igual a 9.

2.2-Materiais

Fotografias aéreas pancromáticas, tomadas em 6 de agosto de 1978 pelo Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. na escala 1:25.000. Fita compatível com o computador (CCT) TM-5-24914 C000 - Órbita 220, ponto 80, quadrante-N+, data de aquisição: 6/Nov/88, bandas 3,4 e 5. Sistema de Tratamento de Imagens- SITIM-150.

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA

A crise dos combustíveis de meados da década de 70 provocou uma grande expansão das atividades de mineração em Santa Catarina. Durante muitas décadas, no entanto, a mineração do carvão foi a principal atividade econômica da região sul de Santa Catarina. A partir dos anos 80, porém, outras formas de economia surgiram na região e, pouco a pouco, substituíram a mineração do carvão. Entre as novas formas de atividades econômicas, destacam-se a cerâmica, as fecularias, as indústrias metalúrgicas e mecânicas e a agricultura (milho, arroz, fumo, etc.).

A extração do carvão é feita por minas-galerias, caso as camadas estejam a grandes profundidades, ou a céu-aberto, quando se acham próximas à superfície. O material minerado, chamado de "run of mine" ou "ROM", deve ser beneficiado de maneira a se obter uma concentração de carvão livre de impurezas. Destas, a piritita, sulfeto de ferro (FeS_2), é a mais importante em razão dos problemas que causa no ambiente. O beneficiamento pode ser feito na própria mina ou no Lavador de Capivarí, em Tubarão, onde se extraem as diversas frações, ou tipos, de carvão,

de acordo com o teor energético que se deseja.

A lavação do carvão provoca os principais problemas ambientais da região. Os efluentes são ácidos e, despejados nos rios, provocam uma redução do Ph. Altos teores de fosfato e sólidos em suspensão são outros tipos de deterioração das águas. A oxidação da pirita em contato com o oxigênio do ar ou da água, forma o ácido sulfúrico, (H_2SO_4). Diversas reações químicas têm aí sua gênese e um dos produtos é o hidróxido de ferro III, $Fe_2(OH)_3$, que deixa as águas dos rios avermelhadas ou amareladas quando o ferro se precipita ao ser hidrolisado. As reações do ácido sulfúrico com ions metálicos presentes na água formam diversos sais tóxicos.

As minas a céu-aberto são o principal agente modificador da superfície. As máquinas removem o material superficial e cavam crateras que podem alcançar 50 metros de profundidade. Os rejeitos são de dois tipos: os piritosos, originados na lavação, e os estéreis formados na lavra. Nos rejeitos encontram-se traços de metais como cobre, chumbo, manganês, zinco, mercúrio, selênio, cádmio, arsênico e outros.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na interpretação da imagem TM Landsat usaram-se como apoio fotos aéreas de 1978. As fotos serviram também para mostrar a situação da mineração naquele ano e permitiram comparações com a imagem MSS Landsat (1978) e com os trabalhos de campo. Estas confrontações revelaram a direção tomada pela expansão da mineração e levaram a conceitos usados na classificação supervisionada. Usaram-se na classificação e na interpretação as bandas TM 3, 4 e 5, obtidas na passagem do satélite no dia 6 de novembro de 1988.

O trabalho foi dividido em 4 eta-

pas, detalhadas abaixo:

1ª etapa - Seleção de uma área-teste em Siderópolis e Criciúma para a realização dos trabalhos de campo.

2ª etapa - Tratamento da imagem na área-teste. Para realçar a vegetação empregou-se a banda 4d3, razão entre as bandas TM 4/TM 3.

3ª etapa - Classificação não-supervisionada da área-teste no SITIM-150, com a criação de nove temas no algoritmo MaxVer. As nove classes selecionadas foram, em seguida, fotografadas no monitor e levadas ao campo.

4ª etapa - Classificação supervisionada (MaxVer), feita após as observações de campo desenvolvidas na região de Siderópolis e Criciúma.

O uso de fotografias aéreas foi indispensável no auxílio à interpretação porque, como alguns alvos apresentavam dimensões reduzidas em relação à resolução da imagem, tornam-se, às vezes, mas carados. É o caso das áreas desprovidas de vegetação que, por causa da semelhança de comportamento espectral, se confundem comumente com as zonas urbanas.

As fotos aéreas procuraram reduzir tanto quanto possível, estas dúvidas.

Na interpretação da imagem MSS LANDSAT as fotos aéreas foram usadas como apoio de campo, principalmente, ao se levar em consideração a pequena resolução para alvos menores que 80 metros.

Os trabalhos de campo revelaram uma grande retração da vegetação natural, substituída por pastos e pela cobertura secundária, representada pelos diversos estágios da sucessão vegetal. A mata primária aparece em pequenos trechos que, devido às suas dimensões, não puderam ser representados na escala usada. Os reflorestamentos de Eucaliptus são comuns em toda região. De modo geral, recobrem antigas áreas de mineração ou tratos de terra anteriormente usados pela

agricultura. Na maioria dos casos têm finalidade comercial e, não raro, a vegetação foi retirada para dar lugar a eles.

As atividades agrícolas na região percorrida baseiam-se especialmente nas plantações de banana. Na imagem TM, os bananais antigos mostram uma tonalidade vermelho-viva porque constituem uma cobertura contínua muito densa, facilmente confundida com a mata secundária. As plantações novas aparecem em azul claro na imagem por que o solo está visível.

Os depósitos de rejeitos localizam-se especialmente em Siderópolis e Rio Fiorita. Sobre os rejeitos estéreis desenvolveu-se uma cobertura herbáceo-arbustiva muito esparsa. Os rejeitos piritosos ocupam uma área menos extensa, muitas vezes, antigas lagoas de decantação, atualmente drenadas. Em outros casos, foram transportados e empilhados em determinados locais e mais tarde, terraplanados.

O grande número de classes determinadas na classificação MaxVer reflete a complexidade da região e, sem dúvida, decorre da forma inadequada com que se dá a ocupação humana local. Isto obrigou a definição de subtipos em algumas classes em razão de diferenças de comportamento espectral. Por outro lado agruparam-se numa mesma classe os alvos semelhantes.

Por exemplo, a classe "vegetação secundária" levou em consideração o porte e a densidade da cobertura e uniu a mata, os capoeirões e as plantações de banana. Entretanto, os reflorestamentos os terraços fluviais e os depósitos de estéreis foram subdivididos porque mostravam manchas distintas na imagem.

Na primeira classificação criaram-se nove classes (Tabela 1). Não obstante a eficiência da matriz, ocorreram muitas confusões dentro de uma mesma classe. Por isso, criaram-se as classes "ref 2", "ter 2" e "re 2" e a elas foi dada a mes-

ma cor das respectivas classes. A classe "ban" foi retirada da classificação seguinte e incluída na classe "msec". A classe "mat" teve o nome trocado para "msec" que engloba toda a cobertura de maior porte - matas secundária e primária, capoeirões e bananicultura. Criou-se a classe "cap" para vegetação de portes médio e baixo (capoeiras e capoeirinhas).

A classificação final foi extrapolada para outros pontos da área-teste. No entanto, ocorreram erros de confusão dentro de uma mesma classe, em razão de diferenças de comportamento espectral verificadas nos alvos. Por exemplo em Santana houve confusão entre as classes de rejeitos estéreis (re e re2) e cidade(cid). Por isso, criou-se uma nova classe de rejeitos estéreis, re3. A classificação feita em seguida revelou que, de fato, há uma diferença no comportamento espectral dessas subclasses, em razão, possivelmente, da cobertura vegetal. Em Siderópolis, os rejeitos estéreis acham-se recobertos por uma vegetação herbáceo-arbustiva. Em Santana os rejeitos estéreis estão recobertos por eucaliptos esparsos que deixam aparecer o solo. A inclusão da classe re3 melhorou a classificação porque diminui a confusão com a zona urbana e delimitou satisfatoriamente os depósitos de estéreis (Tabela 2). O desempenho médio reduziu-se, no entanto, em razão de comportamentos espectrais semelhantes para alvos diferentes. A Tabela 3 mostra a matriz final com todas as classes criadas.

TABELA 1

		N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	pasto	10.6	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	re	6.6	0.0	93.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	rp	8.3	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0
4	ref	10.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	ban(1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	12.5	0.0
6	cid	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.4	0.0	0.0	0.0
7	ag	9.3	0.0	2.1	1.0	0.0	0.0	0.0	87.6	0.0	0.0
8	ter	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	2.2	0.0	86.7	0.0
9	mat(2)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	96.3

Desvio médio : 90.32

Abstenção média: 7.57

Confusão média : 2.11

(1) Banana

(2) Mata secundária

TABELA 2

Desvio médio : 83.61

Abstenção média : 5.89

Confusão média : 10.50

		N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	pasto	7.3	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	re	4.6	0.0	93.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	1.3	0.0
3	rp	8.3	0.0	0.0	87.5	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ref	2.6	0.0	0.0	0.0	87.9	0.0	0.0	0.0	1.1	5.9	2.6	0.0	0.0
5	cid	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	94.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	ag	9.3	0.0	2.1	1.0	0.0	0.0	87.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	ter	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	55.6	6.7	0.0	0.0	0.0	33.3
8	cap	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	83.6	4.9	0.0	3.3	0.0
9	msec	5.4	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	1.5	88.8	1.2	0.0	0.0
10	ref2	5.2	0.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.9	88.6	0.0	0.0
11	rp2	10.2	0.0	0.3	0.5	0.0	6.9	0.0	1.8	1.8	0.0	0.0	67.8	10.7
12	ter2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	2.2	87.8

re : rejeito estéril

rp : rejeito piritoso

ref : reflorestamento

cid : cidade

ag : água

ter : terraço

msec: vegetação secundária

cap : capoeira

TABELA 3

	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 pasto	7.3	89.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 re	4.6	0.0	92.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.3	0.7	0.0	0.0
3 rp	4.2	0.0	0.0	87.5	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0
4 ref	2.6	0.0	0.0	0.0	87.9	0.0	0.0	0.0	1.1	5.9	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 cid	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0	0.0	3.4	1.6	0.0	0.0	15.1	4.3	0.0	3.2	8.7
6 ag	9.3	0.0	2.1	1.0	0.0	0.0	87.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7 ter	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	53.3	6.7	0.0	0.0	28.9	6.7	0.0	0.0	0.0
8 cap	1.6	3.3	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	4.9	83.6	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9 msec	5.4	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	1.5	88.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10 ref2	5.2	0.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.9	88.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
11 ter2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	92.2	0.0	0.0	0.0	1.1
12 re3	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	4.8	86.9	0.0	0.0	4.8
13 ref3	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.8	0.0	0.0
14 cid2	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.9	0.0
15 re2	5.3	2.7	0.0	0.0	0.0	21.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	6.7	61.3

Desvio médio : 81.67

Abstenção média : 4.09

Confusão média : 14.24

5. CONCLUSÃO

A classificação MaxVer apresentou um nível de correspondência com a realidade que pode ser considerado bom. As confusões entre as classes constituem um fato normal, desde que não ultrapassem um dado limiar, de modo a não mascarar o resultado final. As manchas que se confundiram reduziram-se bastante com a uniformização. Os resultados obtidos levam a concluir que o objetivo proposto foi alcançado, embora as áreas recuperadas não tenham aparecido bem na imagem, em virtude de suas reduzidas dimensões. Talvez um estudo mais detalhado destas áreas possa reduzir o grau de confusão e, logo, melhorar a classificação. A realização de apenas uma saída de campo dificultou as observações e as áreas restauradas não puderam ser percorridas convenientemente. As dificuldades em se conseguir um veículo foram o principal problema enfrentado. Em primeiro lugar, devido a escassez de álcool combustível e, depois, em razão de medidas de contenção de despesas do governo estadual que restringiram ao máximo o uso de viaturas oficiais.

Em vista disso, uma segunda etapa de campo que seria realizada em outro setor da área-teste, incluindo as minerações restauradas, não pode ser feita.

A extrapolação da classificação feita na região de Siderópolis para o setor de Santana apresentou resultados um pouco diferentes dos esperados com sobreposição de classes semelhantes. Possivelmente, a extrapolação da classificação para toda a Região Carbonífera force um reajustamento das amostras até que se atinja um resultado conveniente. Talvez, o procedimento mais indicado seja a criação, na Região, de áreas-testes diversas, nas quais as amostras poderão ser refeitas sempre que necessário. Em seguida, as áreas-testes seriam agrupadas numa só que englobasse toda a Região Carboní

fera. Desta maneira, as confusões entre as classes poderiam ser reduzidas ao máximo possível.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ANDERSON, A.T., SCHULTZ, D. & NOCK, H.M. LANDSAT Imagery for Surface Mine Inventory. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 13 (8):1207-1306, August 1977.
- 2 - ANDERSON, A.T. & SCHUBERT, J. ERTS-1 Data Applied to Strip Mining. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42 (2):211-219, February, 1976.
- 3 - IRONS, J.R.; LACHOWSKI, H. & PETERSON, C. Remote Sensing of Surface Mine: a Comparative Study of Sensor Systems. In: 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. II:23-30, April, 1980. S. Jose, Costa Rica.
- 4 - KUX, H.J.H. & VALERIANO, D.M. Resultados preliminares da interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT, aplicada a estudos de áreas de rejeitos de carvão na região de Criciúma, Estado de Santa Catarina. Anais do II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 10-14, 705-712, maio, 1982. Brasília -DF.
- 5 - VALERIANO, D.M.. Sensoriamento Remoto aplicado ao monitoramento de extração mineral em proximidades de áreas urbanas: prós e contras. In: Anais do ENSERPLAN - Encontro Nacional de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Planejamento Municipal, 22-23, 200-210. Outubro, 1987. Campos do Jordão, SP.
- 6 - VALERIANO, D.M. & KUX, H.J.H. Utilização de interpretação automática dos dados do MSS-LANDSAT para estudos de stress de vegetação, causado pela drenagem ácida de depósitos de rejeitos de

carvão, na região de Tubarão, Estado de Santa Catarina, Brasil.

In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10-14, maio, 1982. pp 695-704.