

# O uso de imagens CBERS no monitoramento da expansão de atividades extrativas de rochas carbonáticas em Minas Gerais: o caso da província cárstica de Arcos-Pains

Luis Felipe Soares Cherem<sup>1</sup>  
Antônio Pereira Magalhães Júnior<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Geografia – Graduando  
Rua Flor de Guambé, 70 apto.301 – União  
31.160-290 - Belo Horizonte – MG, Brasil

luis.cherem@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Geografia – Prof. Adjunto  
Caixa Postal 719 - Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha  
31270-901 Belo Horizonte – MG, Brasil  
magalhaesufmg@yahoo.com.br

**Abstract.** This paper introduces an application for the sensor CCD of CERBS-2 satellite on monitoring the evolution of carbonatics minerals extraction in Minas Gerais state, specially at Arcos/Pains karstic region. It helps constraining the spreading of the illegal “cavas” focusing the balance of the karst environment.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, geology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

## 1. Introdução

A ação em cadeia proporcionada pela dinamização da produção agrícola e da construção civil no Brasil tende a impulsionar a expansão da indústria cimenteira e de corretivos agrícolas o que, subseqüentemente, pressiona as áreas com ocorrência de rochas carbonáticas de onde é extraída a matéria prima para esses insumos: o calcário. O estado de Minas Gerais é particularmente rico em rochas calcárias, as quais proporcionam, certas vezes, o desenvolvimento de feições cársticas como grutas e cavernas. Uma destas áreas cársticas naturalmente frágeis ocorre a SW do estado, na Província Cárstica Arcos-Pains. Nesta região, além de ser extraído por grandes empresas nacionais e multinacionais, como a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) e a LAFARGE, o calcário é também extraído por pequenas e médias empresas, muitas delas ilegais. O calcário extraído em cavas superficiais apresenta uma assinatura espectral característica e, portanto, de fácil reconhecimento em imagens de satélites. No sensor CCD-CBERS2 sua refletância é maior nas bandas 2 e 3, sendo bem próxima de zero na banda 4. Aliada à boa resolução espacial e temporal desse sensor, a disponibilização gratuita deste tipo de material possibilita o monitoramento da expansão das atividades extrativas do calcário, um mineral não metálico que é a matéria prima para insumos com diversas aplicações industriais como a cal hidratada e o pó de calcáreo.

Essa característica do sensor CCD-CBERS2 possibilitou, neste trabalho, sua aplicação na análise do processo de evolução da indústria de extração do calcário em uma porção da província cárstica Arcos-Pains, quando associada às imagens produzidas pelos sistemas imageadores LANDSAT-5 e LANDSAT-7. Tais imagens, foram obtidas junto ao *website* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para os anos 1988 e 2000, sensores TM e

ETM+, respectivamente. Portanto, é o objetivo desse trabalho apresentar os resultados do estudo dessa dinâmica temporal por meio da interpretação das imagens obtidas (Tabela 1).

**Tabela 1 – Imagens utilizadas na avaliação da expansão das áreas de extração de calcário**

ANO	1988	2000	2006
Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 7	CBERS 2
Sensor	TM	ETM+	CCD
Data	24-06-1988	20-08-2000	12-04-2006
Órbita	219	74	154
Ponto	219	74	123
Bandas	3, 4, 5	3, 4, 5	2, 3, 4
Cobertura máxima de nuvens	0%	0%	10%

Para tanto, as imagens tiveram todos os seus alvos interpretados e, em seguida, foram extraídas as áreas que corresponderam ao tema *ext\_calc*. Por fim, as classes assim denominadas nas três imagens interpretadas compuseram um mapa temático no qual as classes foram denominadas *ext\_1988*, *ext\_2000* e *ext\_2006*. Essas classes foram medidas e sua evolução temporal comparada. O software utilizado foi o Spring (CAMARA et. al., 1996) versão 4.11.

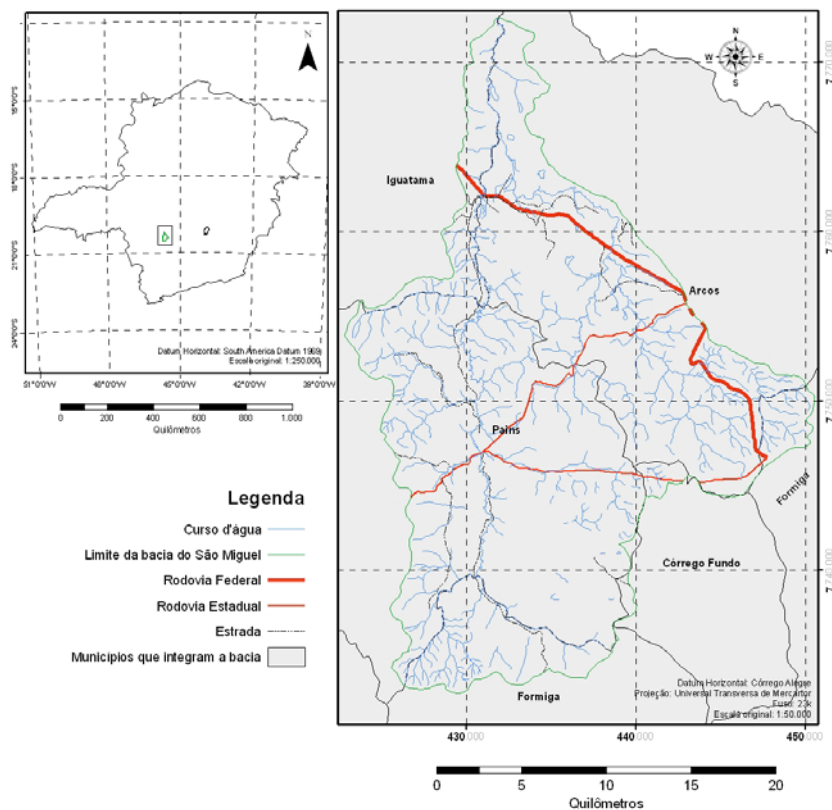
## 2. Localização da Área de Estudo

A maior parte das ocorrências calcáreas e das atividades de mineração na Província Cárstica Arcos-Pains situa-se na bacia do rio São Miguel, a qual ilustra, deste modo, as particularidades geológicas e industriais da região. A bacia faz parte do alto curso do rio São Francisco em Minas Gerais e tem seu retângulo envolvente enquadrado pelos pontos de coordenadas  $-45^{\circ} 44' 30''$ ,  $-20^{\circ} 30' 10''$  e  $-45^{\circ} 28' 36''$ ,  $-20^{\circ} 8' 21''$ . A extensão do curso principal é de aproximadamente 40 quilômetros, com direção S-N.

Essa bacia abrange cinco municípios: Arcos, a nordeste e leste; Córrego Fundo, a sudeste; Formiga, a sul; Iguatama, a noroeste; e Pains, a oeste e centro. A cabeceira do rio São Miguel corresponde à porção noroeste do município de Formiga. O restante do curso principal do São Miguel e seus afluentes orientais e ocidentais pertencem ao município de Pains. O baixo curso do rio divide os municípios de Iguatama e Arcos, havendo nesse ponto, a confluência com o rio Candongas que está quase totalmente inserido no município de Arcos nos seus 17km de extensão

Uma peculiaridade local é a baixa proporção entre a área total da bacia, 523 km<sup>2</sup>, e o total de sua área urbana, 5,7 km<sup>2</sup>, relação essa que corresponde à cifra de 1,1% enquanto a média nacional é de 5%. As demais áreas ocupadas com usos não agrícolas são o distrito industrial de Calciolândia e as indústrias de calcinação distribuídas ao longo das vias de acesso à área urbana de Pains. No extremo leste da bacia destaca-se a calcinação em pequenas indústrias. Essa atividade se estende ao longo da via que liga o município de Pains à Córrego Fundo e segue para Formiga, ficando fora da bacia.

O uso do solo para cultivo de eucaliptos, atividade que tem ganhado importância e despertado o interesse de agricultores locais, está intrinsecamente relacionado à indústria do calcário, que tem na madeira um ótimo combustível para queima da matéria prima e geração de cal virgem.



**Figura 1 – Mapa de localização da área em estudo**

## 2. Comparação do Comportamento Espectral dos Alvos com Pontencial de Confusão

Para que fosse possível uma classificação que obtivesse a menor confusão entre classes possível, os alvos que poderiam apresentar o comportamento espectral próximo foram identificados e georreferenciados em campo e em seguida identificados na imagem CBERS2. A classe de uso do solo foco desse trabalho - áreas de extração de calcário - apresentou o comportamento apresentado na Tabela 2. Os alvos que potencialmente poderiam apresentar algum tipo de similaridade são: afloramento de calcário recoberto por mata seca, afloramento de calcário não recoberto, área de solo exposto e área urbana. Nas tabelas a seguir (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6), observa-se que a maior confusão do alvo *ext-calc* seria com *área de solo exposto* e *área urbana*. Essa confusão não é elevada, pois no primeiro (Tabela 5), há média reflectância na banda 4 e no segundo, ela é média na banda 2 (Tabela 6).

**Tabela 2 - Leitura de pixel para área com extração de calcário**

Categoria: cbers2-2006  
 Long = o 45:35:40.901 Lat = s 20:19:8.728  
 X = 437914.7 m Y = 7753067.2 m  
 Col: 756 Lin: 979  
 PI: CBERS6-2-rec

230	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	249
255	255	255	255	240
249	255	255	255	255
PI: CBERS6-3-rec				
238	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
PI: CBERS6-4-rec				
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

**Tabela 3 - Leitura de pixel para afloramento de calcário recoberto por mata seca**

Categoria: cbers2-2006				
Long = o 45:34:52.247 Lat = s 20:19:29.782				
X = 439328.0 m Y = 7752425.0 m				
Col: 827 Lin: 1011				
PI: CBERS6-2-rec				
25	30	30	30	30
30	35	35	30	30
39	39	39	39	30
39	43	43	39	30
39	43	49	39	35
PI: CBERS6-3-rec				
34	34	42	34	34
51	42	42	42	34
51	51	42	42	42
51	42	42	42	34
51	51	51	51	51
PI: CBERS6-4-rec				
36	43	48	52	52
59	55	55	50	45
80	82	87	78	62
73	80	89	89	75
75	82	84	84	75

**Tabela 4 - Leitura de pixel para afloramento de calcário não recoberto**

Categoria: cbers2-2006				
Long = o 45:38:54.797 Lat = s 20:20:28.757				
X = 432301.3 m Y = 7750585.8 m				
Col: 476 Lin: 1103				
PI: CBERS6-2-rec				

39	43	49	49	53
43	49	49	49	49
39	43	43	43	35
20	25	25	30	30
1	6	12	16	20
PI: CBERS6-3-rec				
59	68	68	68	76
59	85	68	76	68
51	68	59	59	68
42	42	51	51	59
25	34	42	42	42
PI: CBERS6-4-rec				
25	29	27	18	16
20	16	18	16	16
9	9	13	20	18
1	1	9	18	18
1	1	1	4	11

**Tabela 5 - Leitura de pixel para área de solo exposto**

Categoria: cbers2-2006				
Long = o 45:40:5.856 Lat = s 20:11:4.475				
X = 430170.8 m Y = 7767924.7 m				
Col: 369		Lin: 236		
PI: CBERS6-2-rec				
255	255	255	255	249
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
236	255	255	255	255
222	255	255	255	255
PI: CBERS6-3-rec				
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
255	255	255	255	255
PI: CBERS6-4-rec				
110	107	105	105	105
114	117	112	114	114
114	121	121	119	114
117	117	119	119	114
121	124	130	130	126

**Tabela 6 - Leitura de pixel para área urbana**

Categoria: cbers2-2006				
Long = o 45:39:43.122 Lat = s 20:22:13.423				
X = 430913.0 m Y = 7747362.5 m				
Col: 406		Lin: 1264		
PI: CBERS6-2-rec				

132	132	147	165	174
151	142	165	198	203
137	132	151	165	156
114	114	151	170	151
118	128	165	193	174

PI: CBERS6-3-rec

178	178	195	195	221
187	187	204	229	229
187	178	195	221	221
161	161	195	221	204
161	161	195	221	212

PI: CBERS6-4-rec

1	1	4	20	22
1	1	1	1	4
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	6	13	9

Para as bandas homólogas das imagens LANDSAT5 e 7, o comportamento espectral dos alvos analisados foi bem próximo do encontrado na imagem CBERS2, embora a interpretação daquelas tenha sido realizada a partir das bandas 453. Deste modo, a classificação ocorreu sem problemas.

#### 4. Classificação das Imagens

As imagens classificadas têm como retângulo envolvente as coordenadas planas X1:421.328,Y1:7.731.848, X2:453.452 e Y2: 7.773.834, na projeção UTM/CorregoAlegre. A Classificação foi realizada no *software* SPRING (CAMARA et. al., 1996). O método utilizado foi o supervisionado, sendo a segmentação realizada por crescimento de regiões e a classificação pelo método Battacharya. Para tanto, foram utilizadas as classes de uso e ocupação do solo definidas em CPRM (1994), que mapeou áreas cársticas, embora tenha havido adaptação para a resolução espacial do sensor. As classes são: água, vegetação densa, plantação de eucalipto, maciços recobertos com mata seca, maciços rochosos não recobertos, pastagens (campos), solo exposto, solo preparado, solo em pousio, solo plantado, área urbana, nuvem e sombra.

O desempenho médio das amostras de teste alcançado para a imagem LANDSAT5 foi de 85,38%, para a imagem LANDSAT7 foi de 89,04% e para a imagem CBERS2 foi de 79,38%, sendo a confusão média 18,63% entre as amostras de água e solo em pousio e solo exposto e nuvens majoritariamente. Na verificação de campo realizada no meio da estação seca (final de julho) para a imagem CBERS2, os pontos amostrados para validação da imagem obtiveram 93% de equivalência. Os dois pontos em que não houve equivalência encontram-se fora dos limites da bacia de rochas carbonáticas (carbonatadas), pois as áreas sombreadas do relevo foram classificadas como maciço recoberto com mata seca, embora sejam áreas de cerrado, erro esse corrigido com o suporte do modelo topográfico da área.

Após a composição do mapa temático com a classe *ext\_calc* dos três períodos (1988, 2000 e 2006) (Figura 2), essas foram desagrupadas por municípios – Arcos, Pains e Córrego Fundo – e medidas (Tabela7). Observou-se que a distribuição espacial da extração de calcário, historicamente, se concentra em Arcos, fato explicado em grande parte pela presença da cava da CSN que se instalou no município ainda na década de 1960, embora sua expansão anual tenha sido de 1,2% e 3,7% para os períodos 1988-2000 e 2000-2006, respectivamente. Em contrapartida, entre os anos de 1988 e 2000, foi em Córrego Fundo que a taxa anual de

expansão foi mais intensa (17%), já que a atividade inexistia antes da década de 1990. Ainda entre 1988-2000, Pains apresentou expansão de 15%. Já entre 2000 e 2006, a taxa anual foi de 3,7%; 5,2% e 12,1% para Arcos, Pains e Córrego Fundo, respectivamente.

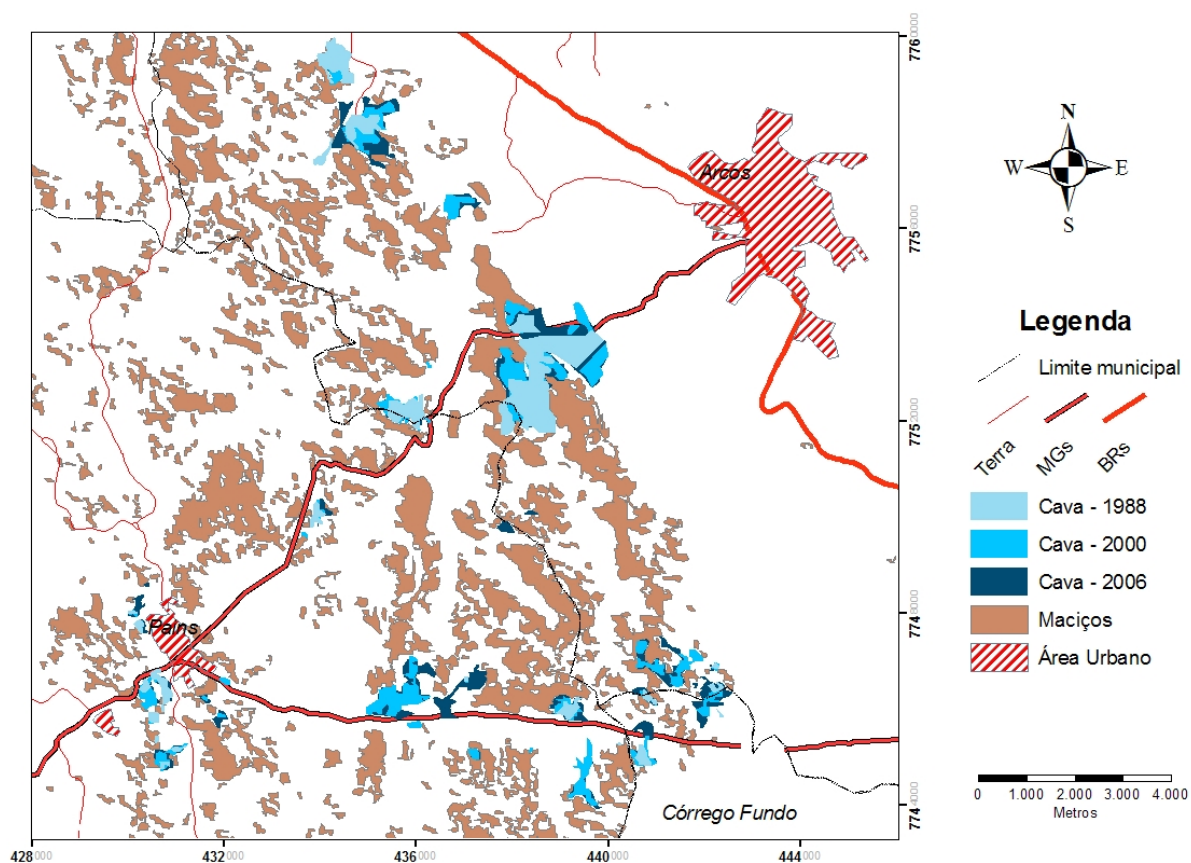
**Tabela 7 - Área com ocupação industrial na bacia do rio São Miguel, por município (Km<sup>2</sup>)**

ANO	1988	2000	2006
Arcos	4,08	4,69	5,91
Pains	0,55	1,60	2,19
Córrego Fundo	0,11	0,34	0,63

FONTE: Dados gerados pelos autores no *software* SPRING (CAMARA et. Al, 1994) através da medida espacial das classes.

A análise espacial realizada sobre o mapa elaborado (Figura 2), demonstra que as cavas mais antigas estão localizadas em Arcos e próximas à área urbana de Pains. Já no ano de 2000, a expansão se concentra ao longo da MG-439 que liga Pains à BR-170, a qual corta a sede de Arcos. Assim, observa-se que a dinâmica da exploração do calcário na região está intrinsecamente relacionada às políticas territoriais dos municípios e à rede viária.

O uso de imagens de satélites para o monitoramento da expansão da extração de rochas carbonáticas é potencialmente útil como ferramenta para o planejamento e a gestão ambiental, subsidiando, dentre outros, a localização de extrações clandestinas e de pequeno porte, muito comuns na região em estudo. A sua fiscalização é dificultada por diversos fatores que englobam a escassez de ferramentas de apoio como bases geográficas derivadas da interpretação de imagens de satélite, o que pode ser suprido quando usadas as imagens do sensor CCD do satélite CBERS2.



## **Figura 2 – Expansão da extração de rochas carbonáticas**

### **Referências**

CAMARA, G; SOUZA, RCM; FREITAS, UM; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (BRASIL); PROJETO VIDA - VIABILIDADE INDUSTRIAL E DEFESA AMBIENTAL. Informações básicas para a gestão territorial: Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa, Minas Gerais. Belo Horizonte :CPRM, 1994 v. (Ordenamento territorial)