



**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL,  
REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

**ANALYSIS OF THE LANDSCAPE OF THE COAL REGION OF THE STATE OF SANTA CATARINA,  
BRAZIL CARRIED OUT WITH SATELLITE IMAGES**

Nilzo Ivo Ladwig<sup>1</sup>, Vanessa Dagostim<sup>2</sup>, Alvaro José Back<sup>3</sup>

**RESUMO**

A atividade de extração do carvão mineral, responsável em grande parte pelo desenvolvimento econômico do extremo sul do Estado de Santa Catarina, alterou significativamente a paisagem natural do território de diversos municípios por meio da contaminação dos recursos hídricos, do solo e pela poluição atmosférica com a geração de gases e poeira. O estudo objetivou caracterizar a paisagem da região carbonífera entre os anos de 1986 e 2016, por meio de análise de série multitemporal de imagens de satélite. A análise se deu por meio de mapas temáticos de uso e cobertura do solo obtidos pelo método de classificação supervisionada MAXVER (Máxima Verossimilhança). Os resultados demonstraram que o método de classificação possui limitações com relação à sua utilização, tendo sido mais eficaz para a identificação das áreas do que para a quantificação. Os dados de sensoriamento remoto permitiram a análise da evolução da paisagem entre os anos de 1986, 2006 e 2016, conferindo desta maneira, base para o planejamento e ordenamento do território.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto; geoprocessamento; território

**ABSTRACT**

The mineral coal mining activity, largely responsible for the economic development of the extreme south of the State of Santa Catarina, significantly altered the natural landscape of the territory of several municipalities through the contamination of water resources, soil and air pollution with the generation of gases and dust. The study aimed to characterize the landscape of the carboniferous region between the years 1986 and 2016, through a multitemporal analysis of satellite images. The analysis was based on thematic maps of land use and land cover obtained by the MAXVER (Maximum Likelihood) supervised classification method. The results showed that the classification method has limitations with respect to its use, being more effective for the identification of areas than for quantification. The remote sensing data allowed the analysis of the evolution of the landscape between the years 1986, 2006 and 2016, giving, in this way, base for the planning and planning of the territory.

**Key-words:** remote sensing; geoprocessing; territory.

Recebido em: 21/02/2017

Aceito em: 09/02/2018

---

<sup>1</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, e-mail: ladwig@unescc.net

<sup>2</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, e-mail: dagostim.vanessa@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, e-mail: ajb@unescc.net

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

### **1.INTRODUÇÃO**

A região carbonífera do Estado de Santa Catarina, durante o século passado, foi marcada pela incessante atividade de extração do carvão mineral, principalmente nos municípios de Criciúma, Urussanga, Siderópolis e Lauro Müller. Responsável em grande parte pelo desenvolvimento econômico do extremo sul do Estado, a mineração alterou significativamente a paisagem natural de diversos municípios por meio da contaminação dos recursos hídricos, do solo e pela poluição atmosférica com a geração de gases e poeira. Ao encerrarem as atividades de uma mina, as carboníferas deslocavam-se para novos sítios de exploração, deixando para trás um passivo ambiental que em alguns locais até hoje permanece (BELOLLI et al., 2010).

Em contraofensiva, no ano de 1993, o Ministério Público Federal propôs uma ação civil pública em desfavor das empresas carboníferas, do Estado de Santa Catarina e da União Federal, tendo como principal objetivo a apresentação de projetos de recuperação ambiental da bacia carbonífera do sul de Santa Catarina. Segundo Souza et al. (2011) os projetos contemplavam as áreas mineradas a céu aberto, as minas abandonadas e as áreas com depósitos de rejeitos, além do desassoreamento, descontaminação e retificação dos cursos d'água, de forma que sejam amenizados os danos sofridos principalmente pela população dos municípios-sedes da extração e do beneficiamento deste mineral.

A ação antrópica é, de fato, um agente modificador relevante do espaço geográfico, pois altera o equilíbrio e a dinâmica dos processos naturais, gera novas funções e cria estruturas estreitamente relacionadas com as práticas culturais e o desenvolvimento de uma região (FUSHITA et al., 2013).

O tipo de cobertura e uso da terra, diante desta situação, são variáveis essenciais para análise dos impactos sobre a paisagem natural, de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos para as gerações futuras. Essas variáveis associadas a fatores geomorfológicos como o relevo, solo e declividade, são

importantes na aplicação de outra linha de análise da paisagem, como exemplo, a análise da fragilidade de um ambiente a algum tipo de uso, ocupação ou por fatores naturais próprios.

Zanella et al. (2012) desenvolveram estudo de análise de uso do solo e da estrutura da paisagem em bacia hidrográfica utilizando as ferramentas do geoprocessamento. Os autores concluem que mesmo utilizando um conjunto simples de ferramentas de geoprocessamento para analisar a paisagem auxiliaram o entendimento de características da paisagem estruturalmente importantes no contexto regional, pois compreender as características da paisagem é ponto-chave para garantir a manutenção da biodiversidade.

Contribuição relevante foi dada por Groom et al. (2006) que estudaram a relação entre sensoriamento remoto e ecologia da paisagem. Concluíram que as imagens orbitais devem ser aceitas como componente espacial dentro da ecologia da paisagem. Colocam como ressalva a necessidade de ter uma visão geral frequente da interface entre a teledetecção e a ecologia da paisagem, especialmente à luz da evolução dos tipos de dados e técnicas de processamento de imagem disponíveis.

Pôças et al. (2011) estudaram em Portugal as métricas de paisagem a partir de mapas de uso e cobertura do solo obtidos do processamento de imagens do sistema Landsat de series multitemporais. Concluíram que os resultados foram potencialmente úteis para orientar políticas apropriadas para o planejamento de manejo e conservação da paisagem.

Neste contexto, o sensoriamento remoto se mostra como uma ferramenta importante na definição de padrões de relevo, pois possibilita a visualização de áreas extensas, proporciona a noção de profundidade e a visão além do visível, otimizando as informações. (CUNHA; BACANI, 2015, p. 631).

O estudo, em vista das ações desenvolvidas pela Ação Civil Pública do Carvão para recuperação das áreas degradadas com disposição de rejeito, se propõe a analisar a

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

evolução da paisagem nas áreas com disposição de rejeito piritoso originado da atividade de extração de carvão mineral utilizando série multitemporal de imagens orbitais do sistema Landsat. Nesta análise da evolução da paisagem da região carbonífera foram utilizadas 9 (nove) imagens datadas de 1986, 2006 e 2016.

### **2. MATERIAL E MÉTODO**

#### **2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

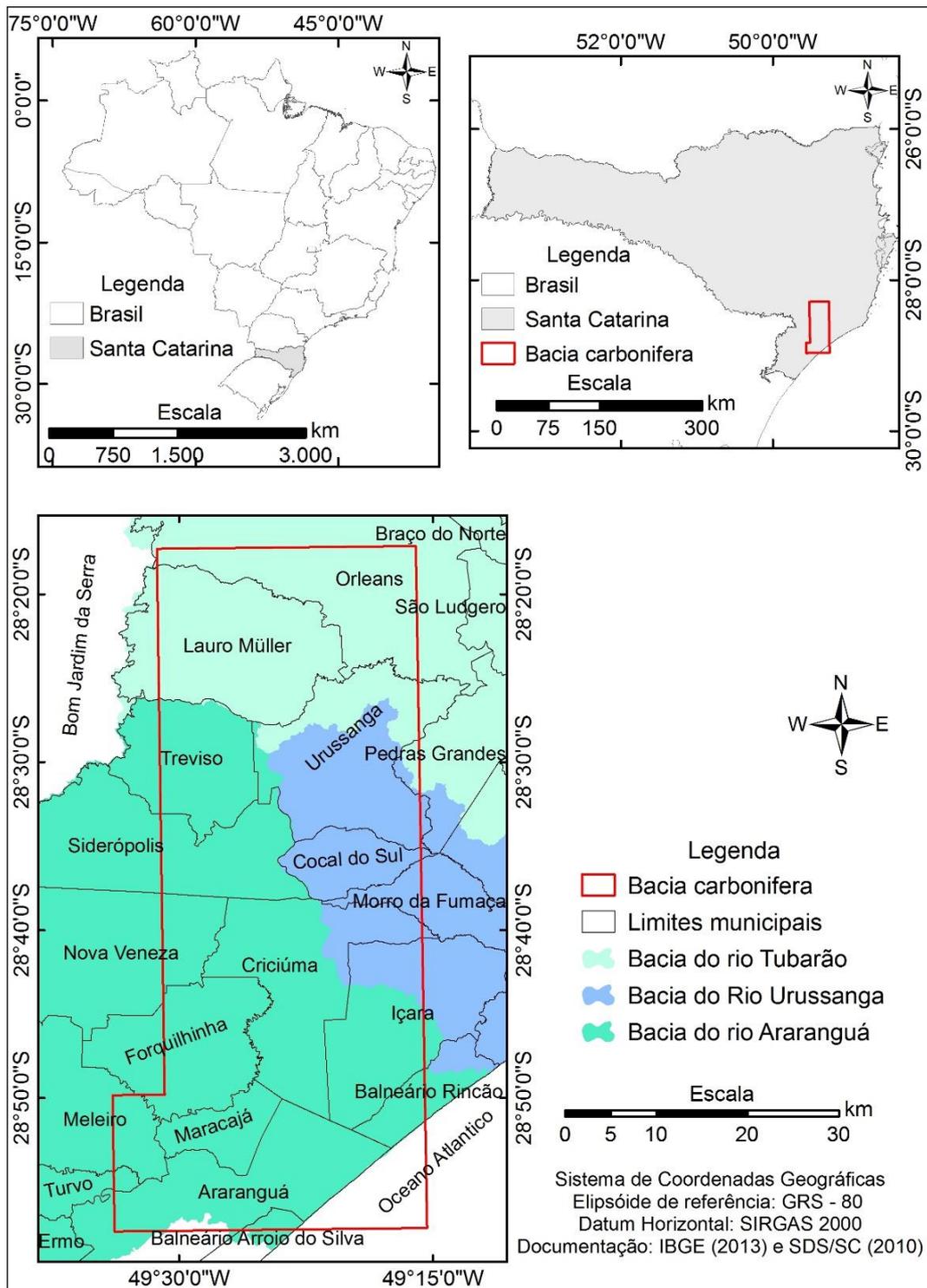
A bacia carbonífera é constituída por uma faixa de cerca de 100 quilômetros de comprimento por 20 quilômetros de largura. Todavia, apesar de ser citada em vários trabalhos científicos e referenciais, denomina-se comumente bacia carbonífera a região que se

estende de Lauro Muller a Araranguá e que possui afloramentos de carvão compreendidos nesta faixa, não existindo uma delimitação exata (CÂMARA, 2011; LADWIG e DAGOSTIM, 2017).

Neste contexto, para que fosse possível executar os procedimentos metodológicos de forma coerente, optou-se por utilizar como área de estudo o limite da bacia carbonífera fornecido pelo Centro Tecnológico de Carvão Limpo (CTCL), que serve de base para o monitoramento do uso e cobertura do solo na área de abrangência imputada pela Ação Civil Pública do Carvão.

A área, conforme ilustrado na Figura 1, localiza-se no extremo sul do Estado de Santa Catarina e está situada aproximadamente entre as latitudes 28°15'00" S e 29°00'00" S e entre as longitudes 49°35'00" W e 49°15'00" W.

**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**



**Figura 1 - Mapa de localização da bacia carbonifera do Estado de Santa Catarina**

Drenam a área das bacias hidrográficas do rio Tubarão, rio Urussanga e rio Araranguá e os municípios abrangidos são Orleans, Lauro Müller, Treviso, Urussanga, Pedras Grandes, Siderópolis, Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Nova

Veneza, Criciúma, Içara, Balneário Rincão, Balneário Arroio do Silva, Forquilha, Meleiro, Maracajá e Araranguá.

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

### **2.2 MATERIAL E MÉTODO**

A primeira etapa do estudo constituiu no download das imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE<sup>4</sup>). O sistema sensor escolhido foi o sistema americano Landsat pelo fato do mesmo possuir uma série multitemporal de imagens com acesso gratuito, além de recobrir totalmente a área de interesse.

Para que fosse possível realizar a análise multitemporal da cobertura e uso do solo, elegeu-se oportunamente três momentos. A primeira do ano de 1986, pelo fato do mesmo ser o ano com uma das maiores produções de carvão, representando portando o “boom” da atividade no Estado de Santa Catarina (COLOSSI, 2005). A segunda de 2006, correspondente ao início da terceira fase da ação civil pública, quando os procedimentos já se encontravam melhor organizados, e por fim a terceira do ano de 2016, por representar a situação atual e quase final do processo judicial iniciado em 1993 (LADWIG e DAGOSTIM, 2017).

De posse das imagens, iniciou-se a segunda etapa de trabalho no ambiente do software ArcGIS 10.3.1 licenciado pela Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Esta etapa se caracterizou pela inserção dos dados vetoriais (polígono da bacia carbonífera fornecido pelo CTCL) e dos dados matriciais descritos no Quadro 1.

Nesta etapa foi essencial eleger as bandas que melhor se correlacionam e que captam de forma eficaz a resposta espectral dos alvos de interesse (área degradada com disposição de rejeito, vegetação, área com intervenção antrópica e corpos líquidos) da classificação do uso e cobertura do solo. Por este motivo, as bandas escolhidas, respeitando-se também as limitações de cada sensor, foram as elencadas no Quadro 1 abaixo.

---

<sup>4</sup> Endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL,  
REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

**Quadro 1 - Características das imagens**

<b>IMAGEM 01 (1986) - SENSOR MSS</b>		
<b>Sequência composição colorida: 4,2,1</b>		
<b>BANDA</b>	<b>COMPRIMENTO DE ONDA (µm)</b>	<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>
1	0,5 - 0,6	60 m
2	0,6 - 0,7	60 m
4	0,8 - 1,1	60 m
<b>IMAGEM 02 (2006) - SENSOR TM</b>		
<b>Sequência composição colorida: 4,3,2</b>		
<b>BANDA</b>	<b>COMPRIMENTO DE ONDA (µm)</b>	<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>
2	0,52 - 0,60	30 m
3	0,63 - 0,69	30 m
4	0,76 - 0,90	30 m
<b>IMAGEM 03 (2016) - SENSOR OLI-TIRS</b>		
<b>Sequência composição colorida: 6,4,3</b>		
<b>BANDA</b>	<b>COMPRIMENTO DE ONDA (µm)</b>	<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>
3	0,53 - 0,59	30 m
4	0,64 - 0,67	30 m
6	1,57 - 1,65	30 m

Salienta-se neste procedimento a necessidade de reprojetar as imagens para o datum SIRGAS 2000 (fuso 22, hemisfério sul) e de reduzir a dimensionalidade da área de estudo para que a aplicação do algoritmo se limite ao polígono de interesse e o tamanho do arquivo diminua.

Com a reprojeção e a composição RGB das imagens concluída, o que resultou em imagens falsa-cor, passou-se à definição das classes de uso e cobertura da terra, as quais ficaram assim definidas: área com intervenção antrópica, corpos líquidos, vegetação, área degradada com disposição de rejeito (piritoso).

O método definido devido à sua já consolidada utilização, foi o da Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood). De fato, segundo Shiba et al. (2005) esta técnica é a mais popular para tratamento de dados de satélites.

O classificador por Máxima Verossimilhança (Maxver) “considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos”. (MENEZES e SANO, 2012, p. 202). Desta forma calcula-se a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Menezes e Sano (2012, p. 202) afirmam que a eficiência deste método está no fato das áreas de treinamento (amostras) serem

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

utilizadas para estimar a forma de distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas.

Todavia, o grande problema desta classificação, segundo Santos (2013, p. 10), é obter amostras de pixels puros, representativos de cada classe espectral. A assinatura espectral de um alvo, de fato, nunca é homogênea e exclusivamente daquele alvo, visto que geralmente ela é maquiada pela resposta espectral proveniente da superfície de fundo ou de outros alvos dentro da área. Além disso, de acordo com Crósta (1993, p. 120), para que a classificação resulte precisa o suficiente, “é necessário um número razoavelmente elevado de pixels para cada conjunto de treinamento, número esse preferencialmente acima de uma centena”.

Isto é confirmado por Menezes e Sano (2012, p. 204), os quais também evidenciam que este classificador exige que as áreas de amostragem das classes de treinamento tenham uma grande quantidade de pixels, da ordem de centenas. Por ser um classificador com base na probabilidade é recomendável que se tenha números de pixels por classe de amostragem mais ou menos iguais, e que sejam tomadas mais do que uma área de amostragem por classe.

Com base nesses referenciais, executou-se a coleta de amostras ao longo de todo o perímetro de interesse. Para todas as classes procurou-se coletar áreas de treinamento de um total de mais de 350 pixels. Embora a literatura citada acima (Crósta, 1993 e Menezes e Sano, 2012) recomende que o número de pixels por classes seja mais ou menos igual, em um primeiro momento, ao aplicar esta recomendação, verificou-se a existência de muitos conflitos entre as classes 1 (área com intervenção antrópica) e 4 (área degradada com disposição de rejeito piritoso). De fato, a resposta espectral de muitos pixels se assemelhavam. Por este motivo

aumentou-se a amostragem para a primeira classe.

Para identificação, sobretudo das áreas degradadas com disposição de rejeito, como a área de estudo é extensa, com aproximadamente 195.000 hectares as amostras foram coletadas com o apoio das imagens do software Google Earth Pro.

Após a coleta das áreas de treinamento, passou-se à etapa de classificação no software ArcGIS 10 utilizando-se a barra de ferramentas Image Classification. Para um melhor resultado, na etapa de pós-processamento aplicou-se filtro (Majority Filter), que diminuiu os ruídos através da eliminação dos polígonos com área inferior a 60 x 60 metros de cada imagem e simplificou as geometrias.

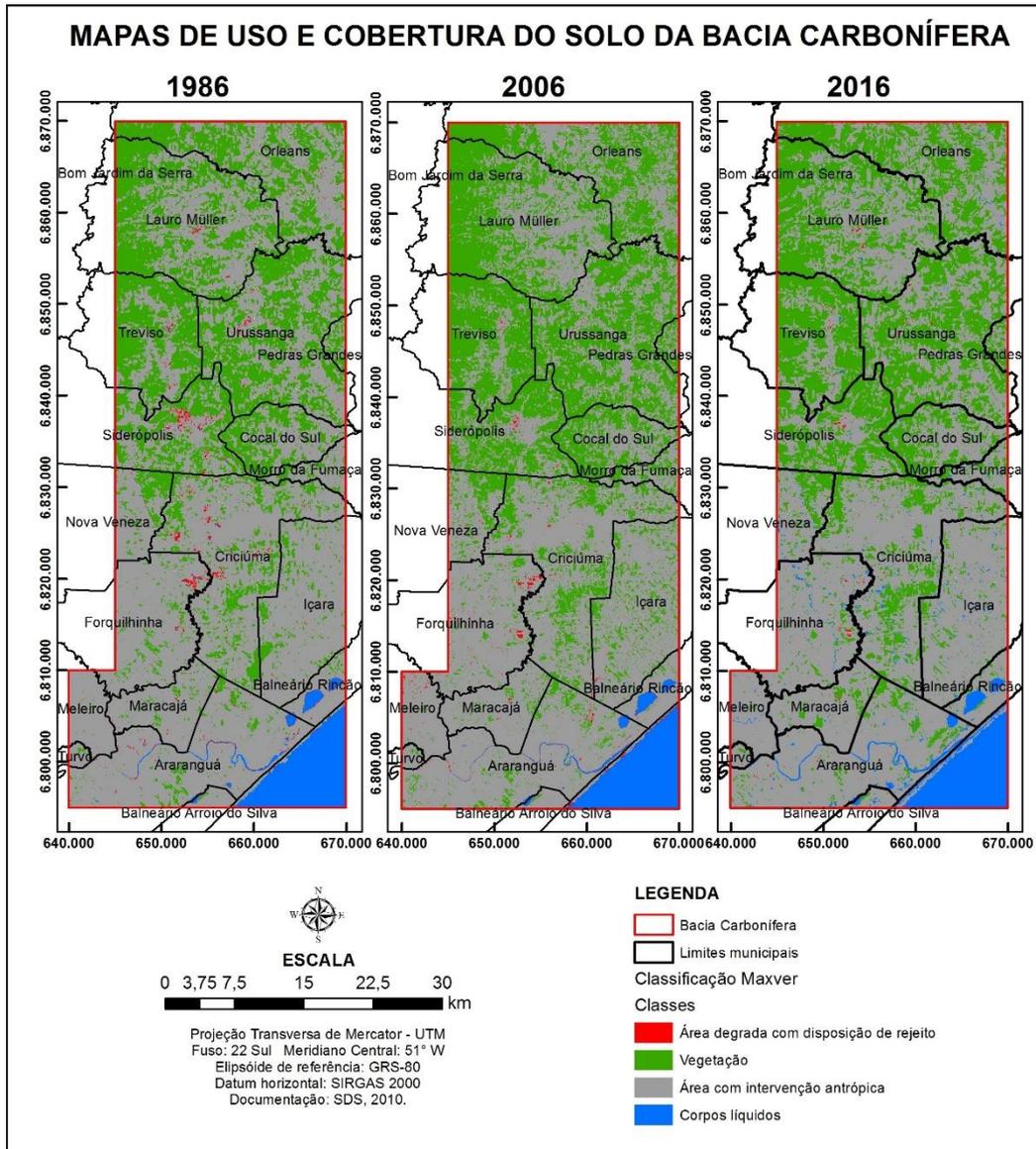
Usou-se o Índice Kappa, para avaliar a acurácia temática por ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão (LEÃO et al., 2007). O Índice de Kappa - IK, foi calculado inicialmente para a bacia carbonífera incluindo todas as classes mapeadas que apresentou um índice de 0,92 que é considerado um valor excelente (MOREIRA, 2001).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos nos mapas de uso e cobertura do solo, referentes aos anos de 1986, 2006 e 2016, são ilustrados na Figura 2. De modo geral, ao analisar os mapas, verificou-se que a classe área degradada com disposição de rejeito piritoso a céu aberto sofreu ao longo dos anos uma considerável diminuição, principalmente nos municípios de Criciúma, Siderópolis e Urussanga.

A classe vegetação também sofreu alterações, porém seu comportamento não é progressivo em nenhum dos municípios, sendo que ora aumenta, ora diminui em diversos pontos. As classes área antrópica e corpos líquidos, por sua vez, não demonstram grandes alterações espaciais na sua dimensão..

## ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE



**Figura 2** – Mapas de uso e cobertura do solo na bacia carbonífera. Fonte: Do autor, 2016

Ao realizar uma análise das áreas de uso e cobertura do solo dos mapas, com base nas Tabelas 1, 2 e 3, observou-se que a classe vegetação sofreu um aumento entre os anos de 1986 e 2006, passando de 30,34% para 35,49% da área, contudo, nos anos posteriores sua expressividade diminuiu, passando a constituir 31,85% da área.

Este aumento se deve ao progressivo enfraquecimento da indústria de extração do carvão, ao fortalecimento da legislação ambiental no Brasil e paralelamente à força da ação civil pública em seus primeiros anos, o que deve ter favorecido a aceleração da recuperação das áreas

degradadas (LADWIG e DAGOSTIM, 2017). Já a diminuição, entre os anos de 2006 e 2016, provavelmente está ligada ao aumento da urbanização nos municípios envolvidos. Medeiros (2006) afirma que a pressão ambiental decorrente da atividade carbonífera, responsável por um dos passivos ambientais da América Latina, é ainda uma constante. Minúsculos fragmentos da vegetação original mesclam uma matriz altamente antropizada, caracterizada por uma extensa área com cultivos de arroz e, em menor escala, de bananeiras.

Ainda associada a estes fatores está a variabilidade da composição florística da

**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL,  
REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

vegetação verificada in loco, o que gerou conflitos na classificação devido à diversidade das espécies utilizadas no reflorestamento e à presença de espécies invasoras em parte da

vegetação secundária, destacando-se o pinus (pinus elliottii), eucalipto (eucalyptus grandis) e acácia (acacia mearnsii).

**Tabela 1** - Quantitativo das classes no ano de 1986

CLASSE	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (ha)	%
Área degradada com disposição de rejeito	12.689.919,44	1.268,99	0,65
Vegetação	591.644.237,96	59.164,42	30,34
Área com intervenção antrópica	1.256.111.049,30	125.611,10	64,42
Corpos líquidos	81.133.704,13	8.113,37	4,16
Pixels não classificados	8.417.878,87	841,79	0,43
<b>TOTAL</b>	<b>1.949.996.789,70</b>	<b>194.999,68</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor, 2016.

**Tabela 2** - Quantitativo das classes no ano de 2006

CLASSE	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (ha)	%
Área degradada com disposição de rejeito	7.806.775,97	780,68	0,40
Vegetação	692.072.183,25	69.207,22	35,49
Área com intervenção antrópica	1.169.966.410,05	116.996,64	60,00
Corpos líquidos	79.554.822,94	7.955,48	4,08
Pixels não classificados	596.597,49	59,66	0,03
<b>TOTAL</b>	<b>1.949.996.789,70</b>	<b>194.999,68</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor, 2016.

**Tabela 3** - Quantitativo das classes no ano de 2016

CLASSE	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA (ha)	%
Área degradada com disposição de rejeito	2.909.354,53	290,94	0,15
Vegetação	621.077.792,80	62.107,78	31,85
Área com intervenção antrópica	1.217.874.910,30	121.787,49	62,46
Corpos líquidos	96.209.220,38	9.620,92	4,93
Pixels não classificados	11.925.511,69	1.192,55	0,61
<b>TOTAL</b>	<b>1.949.996.789,70</b>	<b>194.999,68</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor, 2016.

## ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE

As áreas com intervenção antrópica, as quais englobam tanto as áreas urbanizadas como as áreas com atividades agropecuárias, também possuem um comportamento semelhante à classe vegetação, de fato estas áreas se intensificaram em um primeiro momento (1986), quando representavam 64,42% da área total, regrediram em 2006, quando passaram para 60,00%, mas voltaram novamente a se desenvolver em 2016, alcançando o percentual de 62,46%. Esta oscilação está ligada ao cenário

agropecuário no Estado de Santa Catarina no século passado. Conforme a Tabela 4, a qual ilustra a evolução da área dos estabelecimentos em Santa Catarina entre 1960 e 2006, nota-se que de 1960 e 1985 houve um incremento dos estabelecimentos. No entanto, de 1985 a 2006, verifica-se a variação negativa dos estabelecimentos agropecuários em Santa Catarina devido ao aumento das taxas de urbanização, o que também é apontado pelos resultados da classificação.

**Tabela 4** - Evolução da área dos estabelecimentos no Estado de Santa Catarina

Classe de área (ha)	1960	1985	2006
Menos de 10	235.532	448.981	334.174
10 a menos de 20	556.948	888.168	787.246
20 a menos de 50	1.436.734	1.673.455	1.339.355
50 a menos de 100	888.614	891.819	715.747
100 a menos de 200	600.539	660.163	553.603
200 a menos de 500	632.202	901.561	726.642
500 a menos de 1000	479.990	695.178	501.851
Mais de 1000	1.118.391	1.260.210	1.081.517
Total Santa Catarina	5.948.950	7.419.535	6.040.134

Fonte: Adaptado do Portal da Economia de Santa Catarina, 2016 – disponível em: [http://novosite.fepese.org.br/portaldeeconomia-sc/index.php?c=economia#\\_Toc346963992](http://novosite.fepese.org.br/portaldeeconomia-sc/index.php?c=economia#_Toc346963992). Acesso em 14/10/2016.

Paralelo a isto, também ligado ao processo de antropização, está o aumento das áreas urbanizadas. Segundo o IBGE (2001, apud GOULARTI, 2015, p. 58), a taxa de urbanização no Estado de Santa Catarina passou de 21,32% em 1940 para 59,41% em 1980 e 83,90% em 2010. Portanto, à medida que o setor agropecuário foi perdendo força, os municípios passaram a se urbanizar, conforme ilustrado pelos resultados das Tabelas 2 e 3. É evidente, todavia, que o desenvolvimento deste processo abrange áreas menores e é representado, muitas vezes (principalmente nos grandes municípios) pela verticalização das edificações.

A classe corpos líquidos, como esperado, não sofreu grandes alterações, de fato de 4,16% em 1986, a classe passou para 4,08% em 2006 e para 4,93% em 2016. Esta pequena variabilidade percentual encontrada nos valores está relacionada às amostras escolhidas para cada

imagem, as quais foram coletadas distintamente e, portanto, resultaram em valores diferentes. Os pixels não classificados, também elencados nas Tabelas 1, 2 e 3 representam os pixels que porventura não se enquadraram em nenhuma classe e não foram classificados.

Por fim, ao analisar as áreas degradadas identificadas pela classificação, verificou-se que os resultados respondem positivamente às ações determinadas pela Ação Civil Pública do Carvão (ACP). Iniciando em 1986, um dos anos em que a atividade de mineração do carvão chegou ao seu auge, as áreas com disposição de rejeito identificadas chegaram a 1268,99 hectares.

Todavia, com a crise imputada pela desregulamentação do setor carbonífero em 1990, iniciou-se uma fase de decadência intensificada pela crescente conscientização ambiental e pela organização de movimentos ambientalistas na sociedade catarinense. Estes

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

fatos, aliados às ações da ACP do Carvão, em especial a primeira e a segunda fase, contribuíram para que as áreas com rejeito passassem de 1268,99 ha em 1986 para 780,68 ha em 2006, o que equivale a uma diminuição de quase 40%.

Os resultados obtidos na classificação do ano de 2016, que englobam a terceira e a quarta fase da ação civil pública, são ainda melhores, sendo que as áreas identificadas passaram de 780,68 ha em 2006 para 290,94 ha em 2016. A quarta fase, a qual se continua até os dias atuais, é de fato a que está alcançando os efeitos mais expressivos, conforme também previsto pelo cronograma básico da recuperação de áreas degradadas. Isto é fruto da organização do poder judiciário, através da padronização dos relatórios e aplicação de multas e das ações desenvolvidas pelas próprias empresas por meio do melhoramento dos projetos. Neste contexto, destaca-se o grupo de assessoramento técnico, de fundamental importância para o desenvolvimento dos projetos, para o cumprimento das exigências e para a tomada de decisão de forma harmônica entre todos os envolvidos.

Apesar destas condições satisfatórias, deve-se atentar a alguns fatos. No caso das áreas sob responsabilidade da União, deve-se considerar que muitas ainda não foram recuperadas e nem sequer incluídas no cronograma de recuperação. Soma-se a isto, como agravante, o avanço de espécies invasoras, principalmente pelo “risco que representam e o impacto potencial que podem desenvolver,

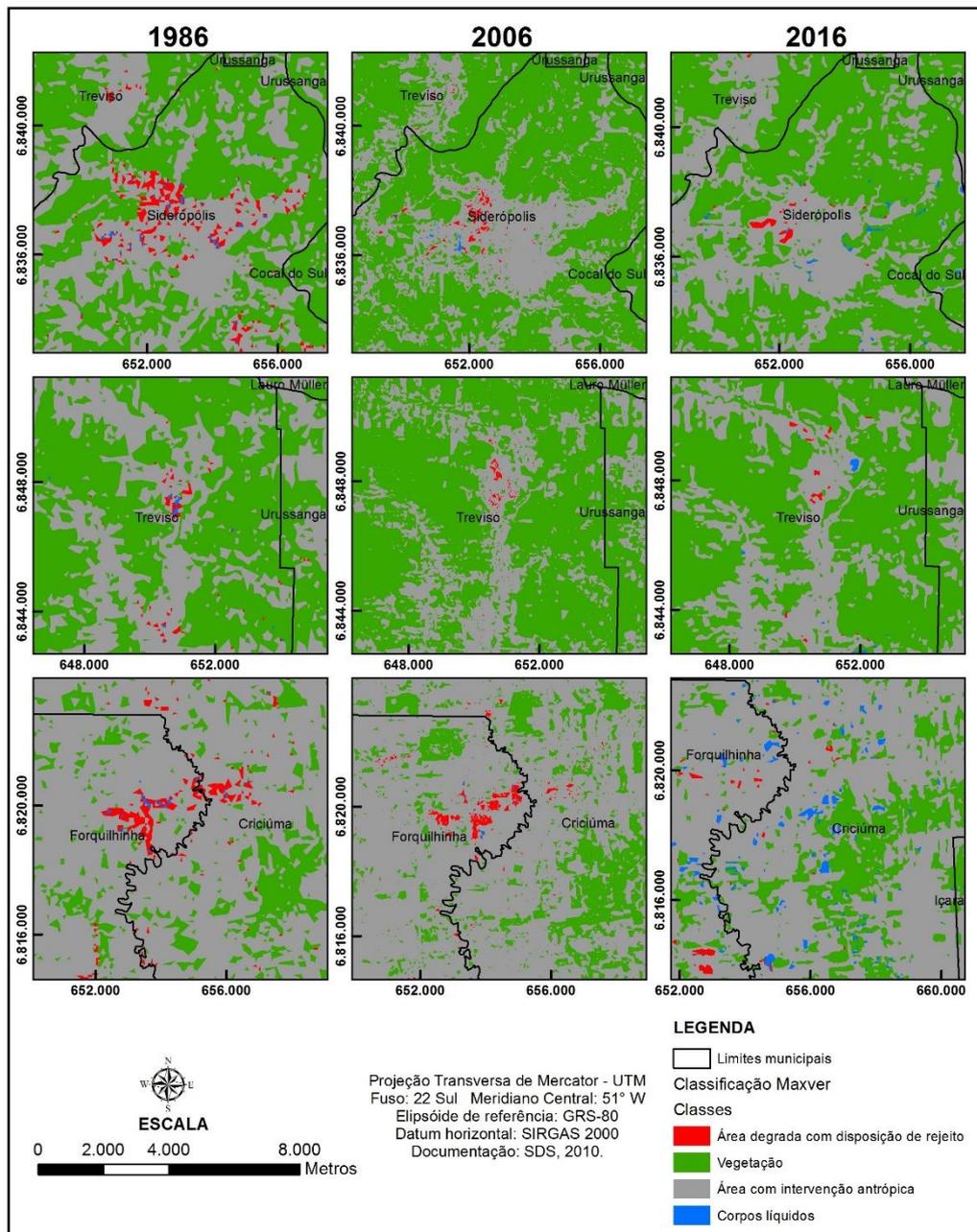
afetando espécies nativas, a dinâmica sucessional ou processos ecossistêmicos que garantem serviços ambientais e a sustentabilidade das atividades produtivas”. (ZILLER, 2009, p. 12).

Salienta-se também que embora os quantitativos obtidos na classificação (Tabelas 1, 2 e 3) sejam expressivos, são inferiores ao estipulado pelo cronograma básico de recuperação das áreas degradadas. Cabe informar que este estudo, de fato, não tem como objetivo quantificar as classes amostradas e nem comparar os resultados com o banco de dados estruturado pela equipe de monitoramento da ACP do Carvão, mas sim analisar a transformação da paisagem com enfoque nas áreas com rejeito piritoso. Neste sentido, o método utilizado se mostrou eficiente, pois apesar das áreas não serem extensas com relação à área total estudada, as áreas degradadas estão bem evidentes e são facilmente identificadas nos mapas.

A Figura 3, em seguida, detalha alguns pontos estratégicos resultantes da classificação. A primeira sequência, a qual evidencia o município de Siderópolis, revela a expressiva diminuição das áreas degradadas nos últimos 30 anos, embora a área ainda careça de ser recuperada.

Na segunda sequência, no município de Treviso é evidente entre os anos de 1986 e 2006 a diminuição das áreas com rejeito. Todavia, entre 2006 e 2016 nota-se um avanço mais ao norte, fruto da instalação de uma mina nas proximidades.

## ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE



**Figura 3** - Mapas em nível de detalhe das áreas com deposição de resíduo pirítico. Fonte: Do autor, 2016.

A terceira série ilustra os municípios de Forquilha e Criciúma, em específico a localidade de Sangão, local que já abrigou a atividade de extração do carvão por vários anos. Neste terceiro caso é expressiva a diminuição das áreas degradadas, o que se constitui num fato positivo e de satisfação no que concerne as atividades desenvolvidas pela Ação Civil Pública do Carvão.

Com relação às outras classes, de maneira geral, verificou-se que a vegetação se mostrou dinâmica, intensificando-se entre 1986 e 2006, mas diminuindo sutilmente nos anos posteriores (como já confirmado pela análise anterior) e influenciando diretamente na área antropizada.

Já os corpos líquidos, pouco presentes em 1986, se tornaram mais evidentes em 2016 nos três municípios. Como as imagens utilizadas

## **ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

foram capturadas nos meses que compreendem a estação do inverno, isto se deve provavelmente à presença de um maior índice de umidade no solo, o que influenciou na resposta espectral dos alvos imageados.

### **4 CONCLUSÃO**

A classificação supervisionada da bacia carbonífera utilizando o método de Máxima Verossimilhança, considerando-se a resolução espacial das imagens Landsat (60 e 30 metros), demonstrou resultados expressivos na identificação das quatro classes amostradas.

As classes vegetação e área com intervenção antrópica foram as que apresentaram melhor resposta espectral com relação as bandas espectrais escolhidas, de fato as mesmas representam as classes com maior cobertura do solo na área de estudo. Isto se deve pelo fato das mesmas englobarem várias subclasses (não discriminadas neste trabalho) e, portanto, serem constituídas por uma grande variabilidade de assinaturas espectrais.

A classe corpos líquidos, por sua vez, apresentou mais conflitos. Com exceção das áreas onde sua presença era facilmente identificável, como no Oceano Atlântico e nas lagoas próximas ao município Balneário Rincão, verificou-se muitos problemas com as outras três classes. Grande parte dos cursos d'água que banham os municípios, pelo fato da resolução espacial ser baixa, muitas vezes eram representados pela sequência de únicos pixels, o que dificultou a coleta de amostras nesta classe e provavelmente ocasionou os conflitos.

As áreas degradadas com disposição de rejeito também apresentaram confusão com relação às outras classes, principalmente com os corpos líquidos e as áreas com intervenção antrópica. Por ser a classe com menor ocorrência, o número de amostras era limitado, o que, associado à baixa resolução espacial, influenciou os resultados obtidos. Com relação ao posicionamento geográfico da classe, observou-se que ao longo da série multitemporal as áreas degradadas permaneceram praticamente sempre no mesmo lugar, o que se constitui num fato positivo para a limitação dos efeitos indiretos da atividade.

Somando a isto, respeitando-se as características do sistema sensor utilizado e a

extensão da área de estudo, concluiu-se que o método possui limitações com relação à sua utilização, tendo sido mais eficaz para a identificação das áreas do que para a quantificação. Recomenda-se, portanto, que sejam testados outros métodos de classificação e que possivelmente sejam testadas imagens orbitais com melhor resolução espacial.

É importante frisar que no caso deste estudo, a escolha por imagens Landsat se deu pela gratuidade dos produtos e pela longa série de imageamento. Além disso, com a atual resolução temporal do satélite de 16 dias, ao se repetir a metodologia apresentada, é possível monitorar de forma gratuita e relativamente simples estas áreas, visto que também podem ser utilizados softwares livres.

A extensão da área, cerca de 195.000 hectares, também favoreceu a utilização de imagens de satélite. De fato, embora o objetivo proposto pudesse ser alcançado com produtos gerados por outras plataformas de imageamento (aeronaes e VANTs), isto demandaria um tempo maior, mão-de-obra qualificada e custos elevados. Pelos motivos mencionados acima a utilização de um método de classificação automática supervisionada atendeu ao propósito do estudo.

Em vista dos argumentos apresentados, embora tenha que se considerar as especificidades do funcionamento do algoritmo e algumas etapas requeiram treinamento mais elaborado do profissional que esteja executando o trabalho de classificação, os dados de sensoriamento remoto permitiram a análise da evolução da paisagem entre os anos de 1986, 2006 e 2016, conferindo desta maneira, bases para o planejamento e ordenamento do território.

### **REFERÊNCIAS**

AMORIM, R. de F.; ALMEIDA, S. A. da S.; CUELLAR, M. Z.; COSTA, A. M. de B.; GOMES, C. Mapeamento de Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007, p. 3709-3716.

**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

- BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. História do Carvão de Santa Catarina: 1950-2000. Criciúma, SC: MEG, v.2, 2010.
- CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1993.
- CÂMARA, M. R. A região carbonífera catarinense apresentada em pesquisas: o ambiente em discussão. In: Memória e Cultura do Carvão em Santa Catarina: Impactos Sociais e Ambientais / Organizador Carlos Renato Carola. Santa Cruz do Sul/ EDUNISC, 2011, p.12-36.
- COLOSSI, G. E. O. Processo de apropriação do espaço urbano em loteamentos populares: Um estudo de caso no loteamento cidade dos mineiros – Criciúma/SC. 2005. 246 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.
- CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Sensoriamento remoto e SIG aplicados ao mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do córrego Indaiá. Geosp – Espaço e Tempo, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 630-646, set./dez. 2015.
- DOS SANTOS, A. A.; BERNARDINO, J. M. M. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no Parque Estadual da Serra do Rola Moça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26, 2014, Gramado. Anais... Gramado: 2014. 17 p. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/anais\\_listagem\\_6\\_sistemas-de-informacoes-geograficas.html](http://www.cartografia.org.br/cbc/anais_listagem_6_sistemas-de-informacoes-geograficas.html)>. Acesso em: 28 jul. 2016.
- FUSHITA, A. T.; REIS, R. R. dos; FARESin, L.; SANTOS, J. E. dos. Desempenho da classificação supervisionada em diferentes programas: comparação por meio do uso da terra e do índice de naturalidade da paisagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 6463-6470.
- GOULARTI, J. G. Migrações, desruralização, urbanização e violência em Santa Catarina. Revista do Núcleo de Estudo de Economia Catarinense. Florianópolis, v. 4, n. 7, p. 55-74, jan./jun. 2015. MEDEIROS, J. de D. Santa Catarina. In: CAMPANILI, Maura; PROCHNOW, Miriam. (Org.) Mata Atlântica: Uma rede pela floresta. Brasília: RMA, 2006. p. 45-57.
- GROOM, G.; MÜCHER, C. A.; IHSE, M.; WRBKA, T. Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context. Landscape Ecology, 2006, 21:391 – 408p., DOI 10.1007/s10980-004-4212-1.
- LADWIG, N. I.; DAGOSTIM V. Briefing da história do carvão mineral no estado de Santa Catarina – Brasil. In Debates Interdisciplinares VIII / organizadores: Rogério Santos da Costa e Taisa Dias. Palhoça, Ed. Unisul, 2017.
- LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 939-946.
- MOREIRA, M. A., Fundamentos de Sensoriamento Remoto. São José dos campos-SP: INPE, 2001.
- MENESES, P.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (Org.). Introdução do processamento de imagens de sensoriamento remoto. 1. ed. Brasília, DF, 2012, 191-208p.
- PÔÇAS, I.; CUNHA, M.; PEREIRA, L. S. Remote sensing based indicators of changes in a mountain rural landscape of Northeast Portugal. Applied Geography, 31, 2011, 871 – 880p., DOI:10.1016/j.apgeog.2011.01.014.
- SANTOS, R. D. B. dos. Dinâmica espaço-temporal (1990-2010) do uso da terra no município de Seropédica, RJ, determinado por classificação automatizada. 2013. 23 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2012II/roberto.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2016.
- SHIBA, M. H.; SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; KIM, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4319-4326. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.11.44>>.

**ANÁLISE DA PAISAGEM DA REGIÃO CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL, REALIZADA COM IMAGENS DE SATÉLITE**

SILVA, N. L. Mapeamento e análise multitemporal da cobertura do solo do município de São Thomé das Letras. 2014. 43 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento), Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/IGCM-9UXN69/nayara\\_lage.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/IGCM-9UXN69/nayara_lage.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 27 jul. 2016.

SOUZA, M. G. R.; CAMPOS, J. J.; GOMES, C. J. B; KOPPE, J. C. Correlação espaço-temporal do monitoramento da cobertura do solo em áreas mineradas por carvão em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL,

3, 2011, Gramado. Anais... Gramado: Rede Carvão, 2011. 11 p.

ZANELLA; L., MISSIO, E.; BORÉM, R. A. T.; SANTOS, M. C. dos; RITTERBUCH, M. A. Environmental characterization of the Lajeado Tunas watershed, RS, Brazil. Brazilian Journal of Ecology, Revista Brasileira de Ecologia. São Paulo, SP. Ecology Society of Brazil, Vol. 01 Ano 14 – 2012. 15 – 33p.

ZILLER, S. R. Como estabelecer prioridades para ações de controle de espécies exóticas invasoras em escala estadual. In: Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Org.) Cadernos da Mata Ciliar. São Paulo: SMA, 2009. p. 12-16. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/matacilia>.