

A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina

Alexander Christian Vibrans¹
Joel Pellerin²
Júlio César Refosco¹

¹ Universidade Regional de Blumenau - FURB
Caixa Postal 1507 – 89010-971 - Blumenau - SC, Brasil
acv@furb.br

² Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Caixa Postal 476 – 88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil
pellerin@ufsc.br

Abstract. This paper focuses on land use and forest cover analysis in Itajaí river basin, in southern Brazilian Santa Catarina state, comparing the results of supervised classification with those of visual interpretation of Landsat data. Analysis shows that visual interpretation frequently cannot distinguish early and intermediate regrowth stages of secondary vegetation from cultivated land. On the other hand, both methods achieve exactly the same results of advanced stages of secondary forests and primary ones. The basin of 15,000 km² has about 54% of secondary and primary forests in 2000, according to both methods; cultivated lands including afforestations are estimated in 25% by classification and 41% by visual interpretation. Early and medium regrowth stage areas achieve 13% and 0,3% respectively. In a regional scale, supervised classification seems to be more adequate for forest cover mapping than visual image interpretation

Palavras-chave: remote sensing, image processing, secondary forests; sensoriamento remoto, processamento de imagens, florestas secundárias.

1. Introdução

O presente trabalho tem o objetivo de quantificar cobertura florestal e uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Itajaí em Santa Catarina, no ano de 2000, comparando os resultados obtidos através de classificação supervisionada com os da interpretação visual (S.O.S. Mata Atlântica, 2002).

Embora a eficiência dos métodos de classificação automatizada de imagens multiespectrais seja reconhecida (Richards, 1993; Chuvieco, 1996; Lillesand e Kiefer, 2000), a interpretação visual de imagens ainda é utilizada e considerada vantajosa quando se trata de grandes regiões. Nestas, as diferenças geomorfológicas, de relevo e das próprias fitofisionomias, somadas às diferenças radiométricas de um grande número de cenas envolvidas, tornam a classificação com instalação de áreas de treinamento e aferição em campo muito dispendiosa e, às vezes, inviável. Assim, o mapeamento e monitoramento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica estão sendo realizados através de interpretação visual de imagens pela *Fundação SOS Mata Atlântica* desde 1985, em colaboração com o *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) e empresas contratadas para a realização da interpretação visual das imagens.

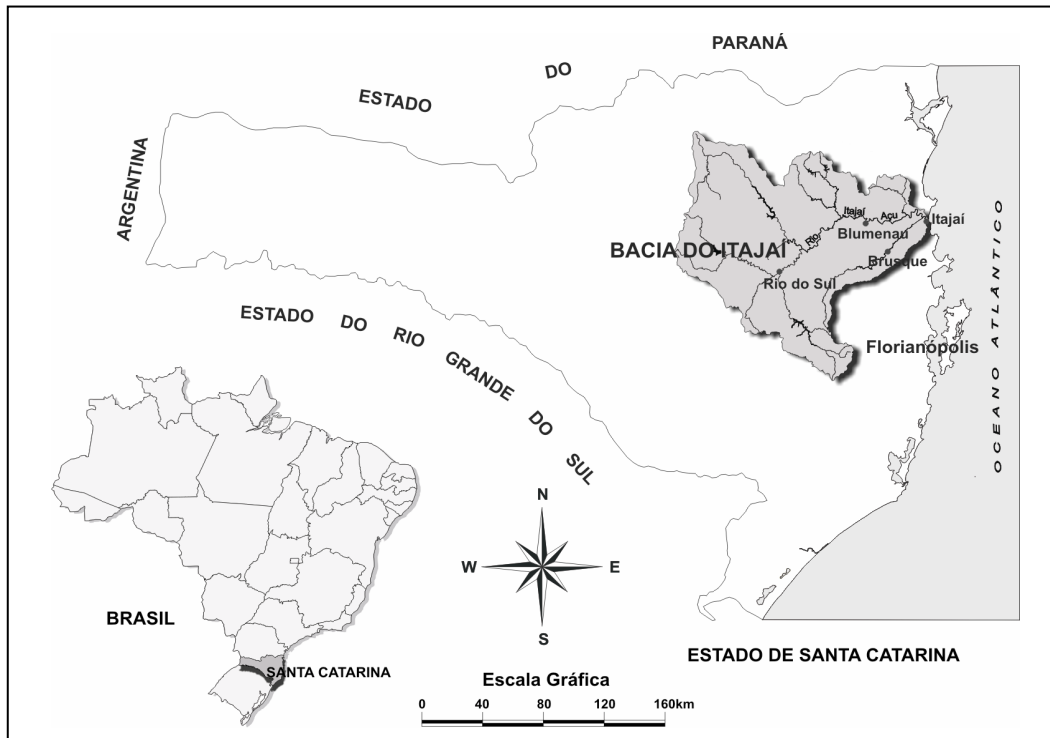


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Itajaí.

2. Materiais e métodos

Á bacia do rio Itajaí é localizada na parte leste de Santa Catarina e é a maior bacia hidrográfica do Estado, inserida quase que totalmente no domínio da floresta ombrófila densa (**Figura 1**).

Os arquivos vetoriais resultantes dos levantamentos dos anos de 1995 e 2000 da *Fundação SOS Mata Atlântica* para as quatro cartas do IBGE na escala 1: 250.000, que abrangem a bacia do Itajaí (SG 22-ZA/ZB/ZC/ZD), foram gentilmente cedidos por Flávio Ponzoni da *Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR)* do *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*. Estes arquivos contêm os polígonos identificados visualmente pelos intérpretes das respectivas imagens e atribuídos às diversas classes de uso do solo, tais como: áreas urbanas, áreas cultivadas (incluindo reflorestamentos), corpos d'água, remanescentes florestais (florestas), remanescentes intermediários, remanescentes iniciais, áreas com cobertura de nuvens e áreas com decréscimo da vegetação. Foi realizado o cruzamento destes arquivos com os polígonos da bacia do Itajaí (**Figura 2**), de suas sub-bacias e de duas microbacias (a do Encano, município de Indaial-SC e a do Mosquitinho, Agronômica-SC).

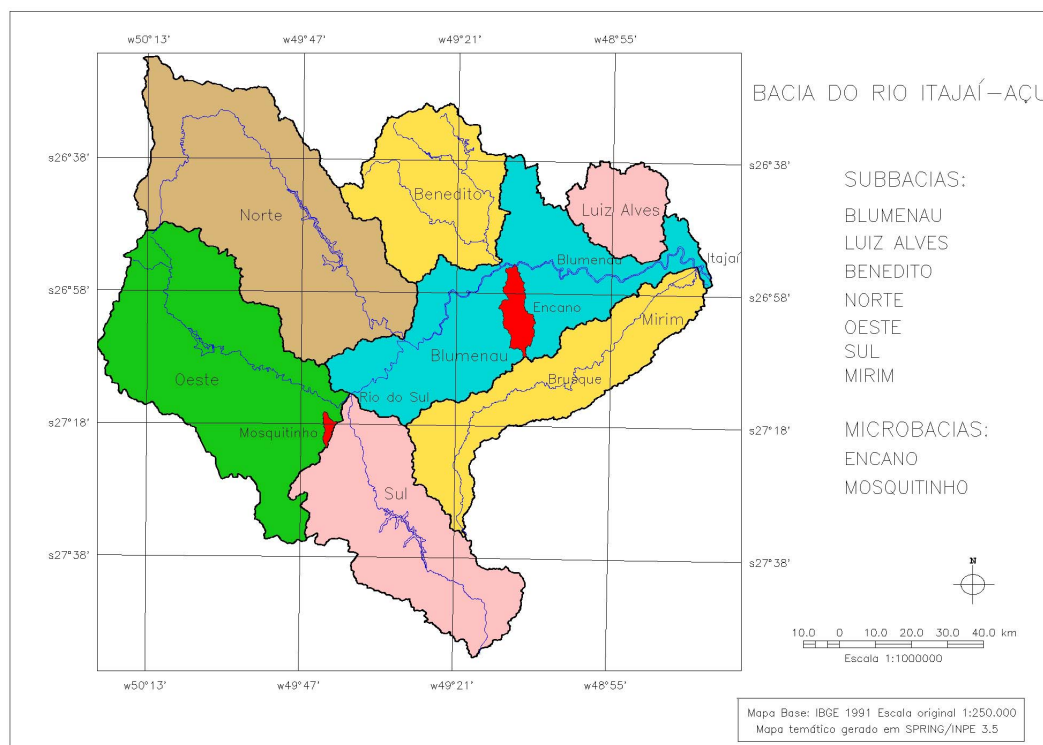


Figura 2: A bacia do Rio Itajaí com as suas sub-bacias e a localização das microbacias do Encano e do Mosquitinho.

A classificação supervisionada, utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança (MaxVer) de imagens Landsat-7 ETM+ (órbita pontos 220 78/79 de 07/05/2000 e 221 78/79 de 08/12/2000), foi realizada a partir de levantamentos terrestres em 39 remanescentes florestais de diversos estádios de sucessão, bem como de um grande número de áreas de treinamento e de controle em todas as sub-bacias (Vibrans, 2003). A classificação de áreas extensas como a bacia do Itajaí representa um desafio, porque diferenças de altitude, de exposição e das condições climáticas podem influenciar a resposta espectral dos alvos; formações florestais podem apresentar diferenças estruturais em diferentes unidades geológicas e geomorfológicas. Por estas razões, foram realizadas várias classificações independentes, com variadas áreas de treinamento e campanhas de verificação em campo, incluindo levantamentos detalhadas nas duas microbacias do Encano e do Mosquitinho. A área da bacia foi dividida em quatro regiões para fins de classificação: a grande região de Blumenau (incluindo as sub-bacias de Blumenau a montante de Gaspar, as sub-bacias de Luiz Alves e do Rio Benedito); a região da Foz do Itajaí e a parte baixa da sub-bacia do Itajaí-Mirim; a sub-bacia do Rio Itajaí do Norte; as sub-bacias dos Itajaí do Oeste e do Sul, incluindo a parte alta da sub-bacia do Itajaí-Mirim. A acuracidade geral das classificações alcançou entre 80% e 85% (verdade terrestre) e 88% (na matriz de contingência com base nas próprias áreas de treinamento, kappa = 0,845).

3. Resultados

A sobreposição dos mapas temáticos resultantes dos dois processos mostra divergências principalmente entre os temas remanescentes florestais, iniciais, intermediárias e áreas agrícolas (lavouras e pastagens). A **Tabela 1** traz os resultados da interpretação visual para as microbacias do Encano e do Mosquitinho. Entende-se por remanescentes florestais áreas com cobertura florestal nativa (em estágio avançado de regeneração e primárias) com área mínima de 10 ha. Além destes, foram mapeadas áreas em estágio inicial e médio de regeneração (“remanescentes iniciais e intermediários”). Reflorestamentos constam como áreas agrícolas.

Tabela 1: Remanescentes florestais nas microbacias do Encano e do Mosquitinho, de acordo com mapeamento da *Fundação SOS Mata Atlântica 1995/2000*.

Microbacia Classe	Encano (ha)			Mosquitinho (ha)		
	1995	2000	%	1995	2000	%
Áreas urbanas	26	26	0,19	-	-	-
Lavouras e pastagens	1.926	1.916	13,85	1.019	1.019	53,10
Cobertura de nuvens	-	-	-	-	-	-
Remanescentes de florestas	11.662	11.671	84,37	900	900	46,90
Remanescentes intermediários	219	220	1,59	-	-	-
Total	13.833	13.833	100	1.919	1.919	100

Observa-se que poucas mudanças foram detectadas no período examinado e que a área antrópica cobre aproximadamente 14% da área total no Encano e 53% no Mosquitinho. Nota-se que o processo visual identificou apenas 1,59% de remanescentes em regeneração na bacia do Encano e nenhuma área de regeneração no Mosquitinho (**Tabela 1**). Em verificação em campo constatou-se que muitas áreas tidas como lavouras e pastagens na verdade são capoeirinhas e capoeiras. A sobreposição dos resultados da classificação (**Tabela 2**) e da interpretação visual confirma a omissão das áreas de sucessão secundária pela última. Ela superestima as áreas cultivadas em 83% na bacia do Encano (1916 ha contra 1043 ha, pela classificação MaxVer, convalidada com dados do censo agrícola de 1999 (Santa Catarina, 1999) e em 53% no Mosquitinho (1019 ha contra 665 ha, pela classificação MaxVer).

Tabela 2: Cobertura florestal e uso do solo nas microbacias do Ribeirão Encano e do Mosquitinho, de acordo com a classificação supervisionada de imagem Landsat de 2000.

Classe	Encano		Mosquitinho	
	ha	%	ha	%
Pastos/lavouras	741	5,3	593	30,9
Estádio inicial	771	5,6	25	1,3
Estádio médio	1.475	10,7	389	20,3
Floresta	9.843	71,1	751	39,1
Reflor. Pinus	143	1,0	60	3,1
Reflor. Eucalipto	159	1,2	12	0,6
Áreas edificadas	121	0,9	43	2,2
Não classificadas	580	4,2	46	2,4
Área total	13.833	100	1.919	100

As áreas com cobertura florestal são subestimadas pela interpretação visual, comparadas com os resultados da classificação, em 29% no Mosquitinho (900 ha contra 1165 ha) provavelmente por não incluírem todas as áreas em regeneração. No Encano a interpretação visual chega a valores semelhantes para a cobertura florestal total (11.881 ha contra 12.089 ha obtidos pela classificação), ela não distingue, no entanto, entre florestas e formações em estágio médio e inicial de regeneração, que totalizam 2.246 ha, de acordo com a classificação.

Nas **Tabelas 3 a 6** constam os dados da interpretação visual referentes à bacia do Itajaí e às suas sub-bacias. Os dados mostram áreas com atividade agrícola em 41,8% da área da bacia e remanescentes florestais em 54,4%, enquanto áreas urbanas cobrem 1,5%. A sub-bacia do Sul é que tem a menor cobertura de florestas (38,6%), a do Benedito a maior (66,1%), seguida da do Mirim (62,9%) e da de Blumenau (60,5%). Os desmatamentos detectados no período somam 0,1% da área (ou 1183 ha), certamente menor que a margem de erro da interpretação. A atividade agrícola sofreu uma retração de 14.126 ha, equivalentes a 1% da área total (ou a 2,2% da área cultivada). As áreas com vegetação em estágio inicial e médio de regeneração totalizam 0,1 e 0,6%, respectivamente, mas não foram detectadas em todas as sub-bacias.

Tabela 3: Remanescentes florestais nas sub-bacias Blumenau e Benedito, de acordo com o mapeamento da *Fundação SOS Mata Atlântica 1995/2000*, em km².

Sub-bacia	Blumenau				Benedito			
	1995	%	2000	%	1995	%	2000	%
Áreas urbanas	142,34	5,1	142,25	5,1	15,30	1,0	15,30	1,0
Corpos d'água	26,25	0,9	26,25	0,9	6,85	0,5	6,85	0,5
Restinga	1,36	0,05	1,36	0,05	-	-	-	-
Lavouras e pastagens	929,63	33,4	925,55	33,3	482,15	32,1	467,70	31,1
Cobertura de nuvens	-	-	4,03	0,1	-	-	19,65	1,3
Remanescentes (florestas)	1664,31	59,8	1663,48	59,8	993,34	66,1	987,88	65,8
Remanescentes intermed.	13,04	0,5	13,03	0,5	4,15	0,3	3,87	0,3
Remanescentes iniciais	6,68	0,2	6,49	0,2	-	-	-	-
Decréscimo flor. (95-00)	-	-	1,16	0,04	-	-	0,54	0,04
Retração lavouras (95-00)*	-	-	4,06	0,7	-	-	14,45	1,0
Total	2783,60	100	2783,60	100	1501,79	100	1501,80	100

* não incluída no total

Tabela 4: Remanescentes florestais nas sub-bacias Luiz Alves e Mirim, de acordo com o mapeamento da *Fundação SOS Mata Atlântica 1995/2000*, em km².

Sub-bacia	Luiz Alves				Mirim			
	1995	%	2000	%	1995	%	2000	%
Áreas urbanas	-	-	-	-	62,11	3,7	62,10	3,7
Corpos d'água	-	-	-	-	-	-	-	-
Restinga	-	-	-	-	1,55	0,1	1,55	0,1
Lavouras e pastagens	243,61	42,0	243,55	42,0	556,90	33,2	556,44	33,2
Cobertura de nuvens	-	-	-	-	-	-	-	-
Remanescentes (florestas)	336,37	58,0	335,61	57,9	1050,58	62,7	1048,95	62,6
Remanescentes intermed.	0,11	0,02	0,11	0,02	4,66	0,3	4,66	0,3
Remanescentes iniciais	-	-	-	-	-	-	-	-
Decréscimo flor. (95-00)	-	-	0,83	0,1	-	-	2,10	0,1
Retração lavouras (95-00)	-	-	-	-	-	-	0,46	0
Total	580,10	100	580,10	100	1675,80	100	1675,80	100

* não incluída no total

Tabela 5: Remanescentes florestais nas sub-bacias Norte e Sul, de acordo com o mapeamento da *Fundação SOS Mata Atlântica 1995/2000*, em km².

Sub-bacia	Norte				Sul			
	1995	%	2000	%	1995	%	2000	%
Áreas urbanas	4,79	0,1	4,79	0,1	5,97	0,3	5,97	0,3
Corpos d'água	1,41	0,04	1,41	0,04	-	-	-	-
Restinga	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavouras e pastagens	1286,35	38,3	1178,14	35,1	1171,78	57,8	1157,71	57,1
Cobertura de nuvens	132,87	4,0	164,16	4,9	38,48	1,9	78,43	3,9
Remanescentes (florestas)	1925,88	57,4	1997,65	59,5	796,32	39,3	768,45	37,9
Remanescentes intermed.	2,06	0,1	2,56	0,1	12,15	0,6	12,80	0,6
Remanescentes iniciais	2,14	0,1	2,14	0,1	1,20	0,1	1,20	0,1
Decréscimo flor. (95-00)	-	-	4,64	0,1	-	-	1,33	0,1
Retração lavouras (95-00)*	-	-	108,21	3,2	-	-	14,06	0,2
Total	3355,50	100	3355,49	100	2025,90	100	2025,90	100

* não incluída no total

Tabela 6: Remanescentes florestais na sub-bacia Oeste e em toda a bacia do Itajaí, de acordo com o mapeamento da *Fundação SOS Mata Atlântica 1995/2000*, em km².

Sub-bacia	Oeste				Total (bacia Itajaí)			
	1995	%	2000	%	1995	%	2000	%
Áreas urbanas	2,70	0,1	2,70	0,1	233,13	1,6	230,42	1,5
Corpos d'água	-	-	5,54	0,2	33,52	0,2	39,06	0,3
Restinga	-	-	-	-	2,91	0,02	2,91	0,02
Lavouras e pastagens	955,62	31,7	1707,51	56,7	*	37,7	6239,30	41,8
Cobertura de nuvens	1557,32	51,7	9,94	0,3	1729,68	11,6	277,22	1,9
Remanescentes (florestas)	495,85	16,5	1284,48	42,6	*	48,6	8086,50	54,1
Remanescentes intermed.	-	-	-	-	36,16	0,2	37,04	0,2
Remanescentes iniciais	0,61	0,02	0,61	0,02	10,62	0,1	10,44	0,1
Decréscimo flor. (95-00)	-	-	1,25	0,04	-	-	11,83	0,1
Retração lavouras (95-00)	-	-	*	-	-	-	141,26	0,9
Total	3012,10	100	3012,02	100	14934,65	100	14934,73	100

* dados incompletos por causa de cobertura de nuvens

Através da classificação supervisionada foi possível identificar para o ano 2000 um total de 8.179 km² de florestas (capoeirões, secundárias e primárias) que somam 54,8% da área da bacia (**Tabelas 7**), percentual muito próximo daquele obtido pelo processo visual das mesmas imagens, para a classe temática “florestas” de 54,1% (**Tabela 6**), embora haja algumas diferenças nas sub-bacias (entre 0,6 e 8%).

Tabela 7: Percentual de áreas cobertas pelas classes inicial, médio e florestas, de acordo com interpretação visual (*S.O.S. Mata Atlântica*) e classificação MaxVer extraída de imagens Landsat de 2000, por sub-bacia do Itajaí.

	Blumenau		Benedito		Luiz Alves	
	S.O.S.	MaxVer	S.O.S.	MaxVer	S.O.S.	MaxVer
Inicial	0,2	1,0	0	2,2	0	2,2
Médio	0,5	12,7	0,02	15,0	0,02	15,0
Florestas	59,8	57,2	57,9	54,5	57,9	54,5
Total	60,5	70,9	58,1	71,7	58,1	71,7

Sul Sul	Mirim		Norte		Sul	
	S.O.S.	MaxVer	S.O.S.	MaxVer	S.O.S.	MaxVer
Inicial	0	1,1	0,1	0,4	0,1	0,9
Médio	0,3	14,9	0,1	7,5	0,6	25,2
Florestas	62,6	58,6	59,5	63,7	37,9	37,3
Total	62,9	74,6	59,7	71,6	38,6	63,4

	Oeste		Total (bacia Itajaí)	
	S.O.S.	MaxVer	S.O.S.	MaxVer
Inicial	0,02	0,2	0,1	0,7
Médio	0	3,5	0,2	12,3
Florestas	42,6	50,9	54,1	54,8
Total	42,6	54,6	54,4	67,8

4. Conclusões

Examinando os resultados da interpretação visual das imagens Landsat (*S.O.S. Mata Atlântica, 2002*), conclui-se que áreas remanescentes iniciais e intermediárias totalizam apenas 0,3% da bacia do Itajaí (o que não é plausível, sob nenhuma hipótese); em algumas sub-bacias, aparentemente, elas não foram mapeadas, pois não aparecem no cômputo da cobertura florestal. A conclusão que se chega é que no processo visual existe dificuldade em discernir estas áreas de regeneração tanto das áreas cultivadas, como das florestas, e que a tentativa de seu mapeamento, neste último estudo para o período 1995 a 2000, não resultou em dados confiáveis. Isto pode ter a sua razão na reduzida extensão das áreas regeneradas, causada pelo costume dos agricultores de fazer geralmente roças pequenas, que não atingem a

área mínima (10 ha) registrada pela interpretação visual na escala de 1:50.000. No que tange às mudanças temporais, o estudo mostra resultados praticamente idênticos para as duas datas, com alterações na casa de décimos percentuais, que são menores que a margem de erro de qualquer mapeamento, seja ele manual ou automatizado.

Nos dados da **Tabela 7** pode ser observado, aquilo que foi concluído da análise das duas microbacias: classificação automatizada e interpretação visual chegam a resultados semelhantes para a classe de florestas bem desenvolvidas, mas a última omite as áreas de regeneração, seja pela sua área reduzida, seja pela impossibilidade do olho humano distinguir as tênues diferenças nas composições coloridas (bandas 3, 4 e 5) das imagens analisadas. Nas diversas sub-bacias a interpretação visual chega a valores iguais ou levemente maiores do que a classificação para o tema florestas (apenas na sub-bacia do Oeste existe uma diferença expressiva de 8 pontos percentuais entre os resultados das duas metodologias). A interpretação visual, no entanto, não registra as áreas significativas de formações secundárias em estágio inicial e intermediário de regeneração, que indubitavelmente existem na bacia do Itajaí. Para uma análise regional, como no caso da bacia do Itajaí, o método da classificação supervisionada, apoiado em intensivo trabalho de campo, parece ser mais confiável do que a interpretação visual de imagens multiespectrais, no que se refere principalmente à detecção de formações secundárias da floresta ombrófila densa.

Referências bibliográficas

- Chuvieco, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones RIALP SA., 1996. 568p.
- Fundação S.O.S. Mata Atlântica. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 1995-2000. **Relatório Final**. São Paulo: Fundação S.O.S. Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 40p.
- Lillesand, T.M. , Kiefer, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 4. ed. New York: John Wiley, 2000. 724p.
- Santa Catarina. Projeto Microbacias. Município de Indaial. **Relatório Final**. Florianópolis: EPAGRI, 1999. 21p. Trabalho não publicado.
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340p.
- Vibrans, A. C. **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí – elementos para uma análise histórica**. 2003. 240f. Tese (Doutorado em Geografia). UFSC, Florianópolis.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Flávio Ponzone da *Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR)* do *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* pela colaboração.