

## Métodos para quantificação da acurácia de estimativas de cobertura florestal a partir mapas baseados em sensoriamento remoto e dados de inventário terrestre: um estudo de caso em Santa Catarina, Brasil

Paolo Moser<sup>1</sup>  
Ronald McRoberts<sup>2</sup>  
Adilson Luiz Nicoletti<sup>1</sup>  
Debora Vanessa Lingner<sup>1</sup>  
Laio Zimmermann Oliveira<sup>1</sup>  
Alexander Christian Vibrans<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Regional de Blumenau  
Rua São Paulo, 3250 - Itoupava Seca - 89030-000 - Blumenau – SC, Brasil  
paolo.moser@gmail.com; adilson\_luiz@hotmail.com; deboravanessa.ef@gmail.com;  
laiozoliveira@gmail.com; acv@furb.br

<sup>2</sup> Northern Research Station, U.S. Forest Service  
11 Campus Blvd., Suite 200 - Newtown Square, PA 19073 - Saint Paul, Minnesota, USA  
rmcroberts@fs.fed.us

**Abstract.** Estimation of area of forest cover from remote sensing-based maps is a very useful technique when data and qualified are available. However, there is no a definitive conclusion about techniques that compensate misclassification errors in the process. In addition, estimating the bias of the estimates is an incipient technique. A case study was conducted in the state of Santa Catarina in southern Brazil, where estimates of four remote sensing-based land cover maps were compared, using the estimate of Santa Catarina Forest and Floristic Inventory as the “ground truth”. The inventory data to assess the overall accuracy and the bias for the four maps. The routine of analysis is based in five steps: (1) classification errors; (2) construction of error matrices, (3) calculating accuracy measures (4) estimating bias and (5) constructing 95% confidence intervals for the estimates. To correct the existing bias, a model-assisted estimator was used. After the adjustments, the estimates for three of the four maps were closer to the plot-based, simple random sampling estimates than before adjustment. However, an independent t-test showed that three of the four maps were statistically significantly different from the simple random sampling estimate. The model-assisted estimator is an easily implemented technique for adjusting for estimated classification bias and for constructing real confidence intervals.

**Palavras-chave:** model-assisted regression estimator, accuracy assessment, Santa Catarina Forest and Floristic Inventory, estimador por regressão assistido por modelo, quantificação de acurácia, Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina.

### 1. Introdução

Ecosistemas florestais estão entre os ecossistemas mais ricos biologicamente e geneticamente diversos da Terra (Holdridge, 1947, 1967; Dinerstein et al., 1995). Estes provêm habitat para 70% das espécies animais e vegetais conhecidas (Matthews et al., 2000), contribuem em aproximadamente metade para a produção de biomassa terrestre (Groombridge & Jenkins, 2002), apresentando contribuição ambiental vital. O setor florestal também tem um papel fundamental no balanço dos gases de efeito estufa; a floresta é definida pela Organização das Nações Unidas como o único dos cinco setores com potencial para remoção dos gases de efeito estufa da atmosfera. Então, a estimativa da cobertura florestal é um ponto chave para qualquer inventário florestal e para programas de quantificação de carbono.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta no auxílio da quantificação da cobertura florestal, apesar de que os métodos de estimativa envolvidos ainda apresentam-se desafiadores e conclusões definitivas ainda não foram atingidas (Mayaux et al., 1998; DeFries & Townshend, 1999; DeFries & Belward, 2000; Strahler et al. 2006; Fuller, 2006; Hansen et al. 2008; McRoberts 2006, 2010, 2011). Problemas como a definição de “floresta”, inúmeros tipo de uso do solo (Steininger, 2000), falta de dados de qualidade sensorizados e inventariados

e falta de pessoal especializado são barreiras para o desenvolvimento do sensoriamento remoto.

No estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, dados de inventário terrestre referentes à composição, estrutura e conservação das florestas tornaram-se disponíveis com o término do primeiro ciclo do “Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina (IFFSC). Estes dados foram coletados entre 2007 e 2010 e satisfazem quatro importantes critérios para utilização conjunta a produtos de sensoriamento remoto: independência, representatividade, esforço amostral e grande cobertura geográfica. Então, o IFFSC representa uma oportunidade única para avaliar a acurácia de produtos provenientes de sensoriamento remoto para a região.

Quatro mapas temáticos de cobertura florestal foram construídos desde 2005: (1) Levantamento da Cobertura Florestal da Secretaria de Agricultura, chamado de LCF/SAR (SAR, 2005); (2) levantamento da vegetação nativa da mata Atlântica, chamado de PROBIO (Cruz & Vincens, 2007); (3) um atlas dos remanescentes da mata Atlântica, chamado Atlas 2008 (Fundação S.O.S. Mata Atlântica, 2009); (4) um mapa temático geral do Projeto de Proteção da Mata Atlântica, chamado PPMA (Geoambiente, 2008). A comparação entre as proporções florestais estimadas por estes quatro mapas revelou discrepâncias variando entre 22% e 41%, motivando o presente estudo.

Os objetivos deste estudo são dois: 1) Quantificar a acurácia de quatro mapas temáticos do uso do solo no estado de Santa Catarina usando dados do IFFSC, e 2) comparar as estimativas corrigidas dos quatro mapas estudados.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1. Dados/Área de estudo**

A área de estudos foi o estado de Santa Catarina, no sul do Brasil, localizado entre as latitudes 26° e 29° S e entre as longitudes 48° e 53° W, contabilizando uma área de 95.346 km<sup>2</sup>. Mapas e dados necessários para o estudo foram disponibilizados pelas respectivas instituições responsáveis.

As informações para acessar a acuracidade dos mapas foram obtidos do Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina (IFFSC). Este banco de dados consistiu na observação da cobertura florestal de 1074 pontos amostrais localizados na interseção de uma grade 10-km x 10-km sobreposta sobre todo o estado. Ao todo 444 pontos foram classificados como “áreas com floresta”, de acordo com a previsão de pelo menos um dos dois mapas de cobertura florestal disponíveis quando o inventário foi realizado. Entretanto, as equipes de campo encontraram área florestal em somente 298 destes pontos. Uma unidade amostral (*cluster*), na forma de uma cruz com subunidades de 1.000-m<sup>2</sup> (20-m x 50-m) foi instalada em cada um destes pontos, onde foram coletados dados de natureza florística, estrutural e fisionômica da floresta ali encontrada. (Vibrans et al. 2010, 2011).

As unidades amostrais foram implantadas com o auxílio de receptores de GPS, calibrados na estação geodésica SAT 91858 IBGE, localizada na Universidade Regional de Blumenau. O erro lido diretamente a partir do equipamento durante o trabalho de campo variou entre 1,1 e 13,0 m, com um média de 5,32 m. Acurácias desta magnitude são consideradas suficientes para mapeamento na escala 1: 50.000.

### **2.2. Processamento de dados**

O vetor com a localização das unidades amostrais do IFFSC foi sobreposto nos quatro mapas temáticos analisados e, para cada ponto, a classe de uso do solo predita pelos mesmos foi determinada. Para permitir futuras inferências, apenas duas macro-classes foram construídas: “floresta” e “não-floresta”. Classes em dúvida foram excluídas da classe “floresta”, de forma a se obter uma estimativa conservadora da cobertura florestal do estado, eliminando assim possíveis fontes de superestimação.

### 2.3. Acessando a acurácia dos mapas

As acurácias dos quatro mapas temáticos foram acessadas com o uso de matrizes de erro/confusão (Tabela 1). Estas contêm as seguintes informações:

- Acurácia geral (*overall accuracy* - OA): proporção de observações corretamente classificadas;
- Acurácia do usuário (*user's accuracy* - UA): proporção entre o número de previsões corretas e o total de previsões para uma classe;
- Acurácia do produtor (*producer's accuracy* - PA): proporção entre o número de previsões corretas e o total de observações para uma classe;
- Erros de omissão: proporção entre o número de previsões incorretas e o total de predições para uma classe;
- Erros de comissão: proporção entre o número de previsões incorretas e o total de observações para uma classe;

Tabela 1: Matriz de erros onde os subscritos 0, 1, e + denotam “não-floresta”, “floresta” e a soma de ambas as classes, respectivamente; AO = Acurácia geral; n = tamanho da amostra.

Dado terrestre (IFFSC)	Mapa temático		Total	Acurácia do produtor
	Não-floresta	Floresta		
Não-floresta	$n_{00}$	$n_{01}$	$n_{0+}$	$\frac{n_{00}}{n_{0+}}$
Floresta	$n_{10}$	$n_{11}$	$n_{1+}$	$\frac{n_{11}}{n_{1+}}$
Total	$n_{+0}$	$n_{+1}$	$n$	
Acurácia do usuário	$\frac{n_{00}}{n_{+0}}$	$\frac{n_{11}}{n_{+1}}$		$OA = \frac{n_{00} + n_{11}}{n}$

O coeficiente *Kappa* (Congalton, 1991) reflete a concordância entre duas classificações. Quando uma classificação é baseada em observações (IFFSC) e outra é baseada em predições (mapas), é considerada uma medida de acuracidade e pode ser estimado por

$$\hat{\kappa} = \frac{n \sum_{m=0}^1 n_{mm} - \sum_{m=0}^1 (n_{m+} \cdot n_{+m})}{n^2 - \sum_{m=0}^1 (n_{m+} \cdot n_{+m})}, \quad (1)$$

onde n é o número de observações; m=0 denota não-floresta; m=1 denota floresta;  $n_{mm}$  é o número de unidades na população observadas e preditas para a classe m;  $n_{m+}$  é o número de unidades populacionais observadas na classe m;  $n_{+m}$  é o número de unidades populacionais preditas para a classe m.  $\hat{\kappa} = 1$  indica uma concordância perfeita entre as classificações, enquanto  $\hat{\kappa} = 0$  indica que não existe concordância além daquela esperada ao acaso.

### 2.4. Estimativa baseada em amostragem aleatória simples

Este estimador baseia-se apenas nas observações do inventário terrestre, assumindo que n é grande o suficiente para permitir a aproximação da amostragem sistemática pela amostragem aleatória simples (*simple random sampling* – SRS). Como o objetivo deste estimador é a proporção de cobertura florestal para a área em questão,  $\hat{p}_{SRS}$  é simplesmente a proporção,

$$\hat{p}_{SRS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2)$$

onde  $n$  é o total de pontos amostrados pelo inventário terrestre e  $i$  é uma variável binária que obedece aos seguintes critérios:  $i=0$  se o ponto observado for classificado como “não-floresta”;  $i=1$  se o ponto observado for classificado como “floresta”.

Este estimador é não tendencioso, porém sua variância pode ser sensivelmente elevada. Esta variância pode ser acessada por:

$$\widehat{Var}(\hat{p}_{SRS}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{p}_{SRS})^2 = \frac{\hat{p}_{SRS}(1 - \hat{p}_{SRS})}{n}, \quad (3)$$

Então, um intervalo de confiança para  $\alpha=0,05$  pode ser construído através de:

$$\hat{p}_{SRS} \pm t_{0,975} \cdot EP(\hat{p}_{MA}), \quad (4)$$

onde  $t_{0,975}$  é o 97,5 percentil da distribuição t de Student e EP é o erro padrão dado por  $EP(\hat{p}_{MA}) = \sqrt{\widehat{Var}(\hat{p}_{MA})}$ . Para amostras sistemáticas, as estatísticas derivadas podem ser sutilmente superestimadas, quando comparadas a amostragem aleatória simples (Särndal et al., 1992). Entretanto, para o tamanho da amostra deste estudo, esta diferença pode ser negligenciada.

#### 2.4. Estimativa assistida por modelo

Os intervalos de confiança foram construídos através de uma abordagem assistida por modelo (*model-assisted* – MA), definida por McRoberts (2011). Esta abordagem compensa a tendência existente nas estimativas geradas a partir dos mapas (tendência esta gerada pelos erros de classificação).

Um estimador inicial da proporção populacional pode ser calculado a partir das unidades observadas pelo inventário e as não observadas (Särndal et al., 1992), da seguinte forma:

$$\hat{p}_{inicial} = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=n+1}^N \hat{y}_i \right) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i, \quad (5)$$

onde  $y_i$  são os pontos do mapa com observação terrestre,  $\hat{y}_i$  são os pontos do mapa sem observação terrestre e  $N$  é o total de pontos do mapa. A tendência (*bias*) deste estimador pode ser acessada por:

$$\widehat{Bias}(\hat{p}_{inicial}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) = \frac{n_{+1} - n_{1+}}{n}, \quad (6)$$

onde  $n_{+1}$  e  $n_{1+}$  são obtidos da matriz de erros (Tabela 1). Nota-se que esta estimativa de viés foi obtida a partir dos dados de inventário terrestre (modelo). Então, uma estimativa corrigida a partir deste modelo (“assistida”), pode ser aproximada por:

$$\hat{p}_{MA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{y}_i - \frac{n_{+1} - n_{1+}}{n}. \quad (7)$$

Com variância aproximada por,

$$\widehat{Var}(\hat{p}_{MA}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = \frac{n_{01} + n_{10}}{n(n-1)} = \frac{1 - OA}{n-1} \quad (8)$$

onde  $n_{01}$ ,  $n_{10}$ , e OA também são obtidos da matriz de erros (Tabela 1). Sendo assim, um intervalo de confiança para  $\alpha=0,05$  pode ser construído através de,

$$\hat{p}_{MA} \pm t_{0,975} \cdot EP(\hat{p}_{MA}), \quad (9)$$

onde  $t_{0,975}$  é o 97,5 percentil da distribuição t de Student e EP é o erro padrão dado por  $EP(\hat{p}_{MA}) = \sqrt{\widehat{Var}(\hat{p}_{MA})}$ .

#### 2.6. Comparando estimativas

O estimador SRS é frequentemente utilizado como padrão de comparação, uma vez que este é não tendencioso, ou seja, o valor esperado da média sobre todas as médias amostrais é a própria média populacional.

Assumindo que o estimador SRS é independente das estimativas geradas a partir dos mapas, um teste t para diferença pareada de proporções entre as estimativas dos mapas, as estimativas assistidas por modelo e o estimador SRS foi conduzida, com uso da estatística de teste,

$$t = \frac{\hat{p}_{SRS} - \hat{p}_{MA}}{\sqrt{\hat{V}ar(\hat{p}_{SRS}) + \hat{V}ar(\hat{p}_{MA})}} \quad (10)$$

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Acurácia dos mapas

Os resultados da acurácia geral dos mapas analisados encontram-se na Figura 1. Os valores estimados para o coeficiente Kappa ( $\hat{\kappa}$ ) foram de 0,723; 0,677; 0,718 e 0,834 para os mapas LCF/SAR, PROBIO, Atlas 2008 e PPMA, respectivamente, o que revela uma forte concordância entre as estimativas mapas/IFFSC. Destaca-se o mapa PPMA, que apresentou maior AO (0,921) e  $\hat{\kappa} = 0,834$ .

Os erros de comissão (predições incorretas para as áreas de “floresta”) e os erros de omissão (predições incorretas para área “não-floresta”) podem ocorrer não somente por erros de classificação, mas também por (1) mudanças na classe de uso do solo no intervalo temporal entre a obtenção das imagens e o levantamento de campo, (2) erros na retificação da localização das unidades amostrais e (3) discrepâncias entre os tamanhos das unidades amostrais e dos pixels.

#### 3.2. Estimativa baseada em amostragem aleatória simples

A aplicação do estimador SRS usando apenas os dados de campo do IFFSC resultou em uma cobertura florestal de 26.337,81 km<sup>2</sup> com erro padrão de 2.593,76 km<sup>2</sup> com um intervalo de confiança de 95% igual a (23.744,05; 28.931,57). Isto equivale a uma proporção de 27,8% do estado de Santa Catarina com cobertura florestal. Doravante, este será o valor de comparação para as demais estimativas.

#### 3.3. Estimativa assistida por modelo

Mesmo apresentando acurácia semelhante, os diferentes mapas apresentam diferentes tendências, que podem ser corrigidas utilizando a estimativa assistida por um modelo construído a partir dos dados do IFFSC.

Para os mapas LCF/SAR e PPMA, os erros de comissão excederam os erros de omissão, implicando que a tendência dos mesmos foi positiva, e o estimador inicial baseado nestes mapas superestimou a proporção de cobertura floresta em 4,4% e 4,7%, respectivamente. O inverso ocorreu com os mapas PROBIO e Atlas 2008, que subestimaram a cobertura florestal em 5,1% e 6,5%, respectivamente. Estas estimativas de tendência foram utilizadas para corrigir os valores das estimativas iniciais dos mapas. Também foi possível realizar correções nos erros padrões e, conseqüentemente, nos intervalos de confiança gerados inicialmente. Estes ajustes produziram estimativas mais similares ao SRS em 3 dos quatro mapas estudados e são reportados na Tabela 2.

#### 3.4. Comparações

Os testes t para significância da diferença entre os estimadores de cobertura florestal MA e SRS apresentaram evidências de que os resultados do mapa Atlas 2008 não é estatisticamente diferente do SRS ( $P > 0,05$ ), enquanto todos os outros três o são ( $P < 0,05$ ).

Os quatro mapas apresentaram acurácia semelhante, em um intervalo de 87,6% a 92,9%, atendendo ao critério de 85%, proposto por Anderson (1976), entretando, os resultados gerais foram distintos, conforme mostra a Tabela 2.

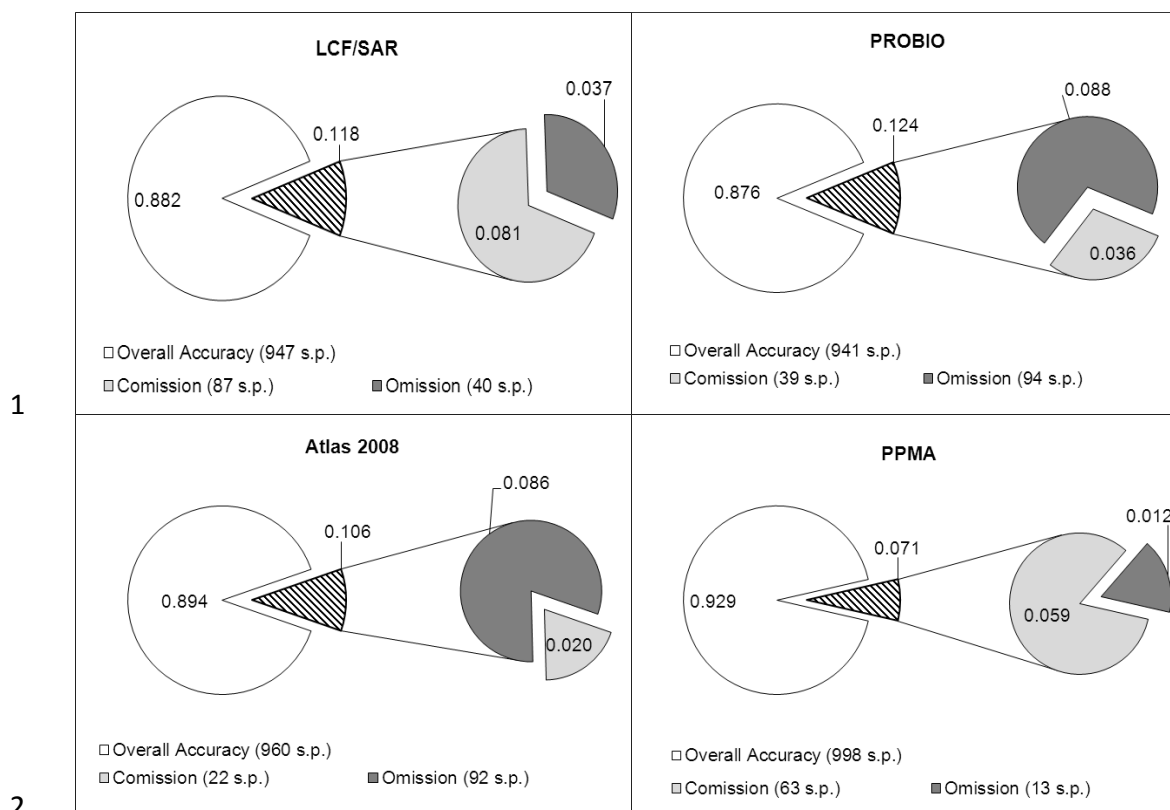


Figura 1. Acurácias das matrizes de erro para os quatro mapas temáticos de cobertura florestal analisados com o auxílio de dados terrestres fornecidos pelo IFFSC, onde s.p. significa unidade amostral (*sample point*).

O estimador SRS para Santa Catarina é  $\hat{p}_{SRS} = 27,8\%$ . Este valor está entre as estimativas mais conservadoras (PROBIO e Atlas 2008) e Mais liberais (LCF/SAR e PPMA).

A seleção do “melhor mapa” depende do critério adotado (entre parênteses encontra-se o mapa que deveria ser escolhido): acurácia do estimador ajustado com o auxílio do modelo (Atlas 2008) ou maior correspondência - acurácia geral - com as informações do IFFSC (PPMA). A maior acurácia do PPMA pode dever-se a alguns fatores: (1) diferença temporal entre o inventário terrestre e a aquisição das imagens; (2) menor resolução espacial; (2) menor área mínima mapeada. Entretanto, nenhum destes fatores podem ser apontados, com rigor científico, como fator determinante das diferenças encontradas.

Entretanto, apesar de suas diferenças, os mapas satisfazem, mesmo que parcialmente, os requerimentos para torná-los ferramentas úteis no planejamento do uso do solo, o que dados de ordem global não satisfazem (Levsky et al., 1999; Fuller, 2006).

#### 4. Conclusões

1. O estimador assistido por modelo permite compensação de tendência nas estimativas dos mapas. A única informação necessária para sua construção matemática é a matriz de erro.
2. Apesar da acurácia geral dos mapas ser similar, a estimativa de tendência entre eles foi diferente.

3. O erro padrão de estimativa, após a compensação de tendência, foi menor para os mapas do que para a estimativa baseada apenas em inventário terrestre. Então, os mapas contribuem para o aumento na precisão da estimativa de cobertura florestal.
4. Somente um mapa não apresentou evidências de diferença significativa no que diz respeito à sua estimativa assistida por modelo comparada com o estimador baseado em inventário terrestre.
5. Uma definição *a priori* de “floresta” é fundamental para estudos que envolvam o sensoriamento remoto como instrumento inferencial de atributos florestais.

Tabela 2: Estimativas da cobertura florestal para Santa Catarina usando estimativa baseada em amostragem aleatória simples (SRS) e estimativa assistida por modelo (MA).

Estimativa	SRS	Mapa			
		LCF/SAR	PROBIO	Atlas 2008	PPMA
Área florestal (km <sup>2</sup> )	-	35.498,7	25.680,3	21.340,7	39.531,2
OA	-	0,882	0,876	0,894	0,929
$\hat{\kappa}$	-	0,723	0,677	0,718	0,834
$\hat{p}_{inicial}$	-	0,372	0,269	0,224	0,415
Tendência( $\hat{p}_{inicial}$ )	-	0,044	-0,051	-0,065	0,047
$\hat{p}^a$	0,277	0,329	0,321	0,289	0,368
SE( $\hat{p}$ ) <sup>a,b</sup>	0,014	0,010	0,011	0,010	0,008
95% CI ( $\alpha \approx 0,05$ )	0,251-0,305	0,309-0,349	0,299-0,343	0,269-0,308	0,352-0,384

<sup>a</sup> Para SRS,  $\hat{p} = \hat{p}_{SRS}$ ; para mapas  $\hat{p} = \hat{p}_{MA}$ .

<sup>b</sup> SE é o erro padrão (raiz quadrada da variância).

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro ao IFFSC.

### Referências Bibliográficas

- Anderson, J., Hardy, E., Roach, J., & Witmer, R. A land use and land cover classification system for use with remote sensing data. **U.S.G.S. Professional Paper 964**, Government Printing Office, Washington, DC, 1976.
- Congalton, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 37, 35–46, 1991.
- Cruz, C.B.M.; Vicens, R.S. Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica. **Relatório Final**. Rio de Janeiro: IESB/IGEO/UFRJ/UFF. 84pp, 2007.
- DeFries, R.F., & Townshend, J.R.G. Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation? **Global Ecology and Biogeography**, 8, 367-379, 1999.
- DeFries, R.S., & Belward, A.S. Global and regional land cover characterization from satellite data: an introduction to the Special Issue. **International Journal of Remote Sensing**, 21(6-7), 1083-1092, 2000.
- Dinerstein, E., Olson, D.M., Graham, D.J., Webster, A.V., Primm, S.A., Bookbinder, M.P., Ledec, G. **Una evaluación del estado de conservación de las ecoregiones terrestres de América Latina y el Caribe**. Publicado en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza, Banco Mundial, Washington, D.C., 1995.
- Fuller, D.O. Tropical forest monitoring and remote sensing: A new era of transparency in forest governance? **Singapore Journal of Tropical Geography**, 27, 15-29, 2006

Fundação S.O.S Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2005-2008.** Relatório Final. São Paulo: Fundação S.O.S. Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 156pp., 2009.

Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda. **Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina (PPMA/SC).** Relatório Técnico do Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina. São José dos Campos. 90pp., 2008.

Groombridge, B., Jenkins, M.D. **World atlas of biodiversity.** Berkeley: University of California Press. 340pp. 2002.

Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Loveland, T.R., Townshend, J.R.G., DeFries, R.S., Pittman, K.W., Arunarwati, B., Stolle, F., Steininger, M.K., Carroll, M. & DiMiceli, C. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. **Proceedings of the National Academy of Science, USA**, 105(27): 9439–9444. 2008.

Holdridge, L.R. Determination of world plant formation from simple climatic data. **Science**, 105, 367-368, 1947.

Holdridge, L.R. Life zone ecology. **Tropical Science Center**, San Jose, CA, 1967

Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Hudak, A., Acker, S. A & Ohmann, J. Integration of lidar, Landsat ETM+ and forest inventory data for regional forest mapping. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing** 32, (Part 3W14), 119-126, 1999.

Matthews, E., Payne, R., Rohwede, M., & Siobahn, M. **Pilot analysis of global ecosystems: forest ecosystems.** World Resources Institute. Washington, DC. 86 pp. 2000.

Mayaux, P.; Achard, F.; Malingreau, J.-P. Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery: a comparison with other approaches. **Environmental Conservation**, 25 (1), 37-52, 1998.

McRoberts, R.E. Model-based approach to estimating forest area. **Remote Sensing of Environment**, 103, 56-66, 2006.

McRoberts, R.E. Probability- and model-based approaches to inference for proportion forest using satellite imagery as ancillary data. **Remote Sensing of Environment**, 114, 1015-1025, 2010

McRoberts, R. E. Satellite image-based maps: scientific inference or pretty pictures? **Remote Sensing of Environment**, 115, 715-724, 2011.

SAR. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de Santa Catarina. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina.** Relatório do Projeto Piloto. Florianópolis. (mimeo). 170 pp. 2005.

Särndal, C.-E., Swensson, B., & Wretman, J. **Model assisted survey sampling.** New York: Springer. 693 pp. 1992.

Steininger, M. K., Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. **International Journal of Remote Sensing**, 21 (6-7), 1139-1157, 2000.

Strahler, A.H., Boschetti, L., Foody, G.M., Friedl, M.A., Hansen, M.C., Herold, M., Mayaux, P., Morissette, J.T., Stehman, S.V. & Woodcock, C.E. **Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps.** GOCF-GOLD Report No. 25. Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities. 60 pp. 2006.

Vibrans, A.C., Sevegnani, L., Lingner, D.V., Gasper, A.L., & Sabbagh, S. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 30 (64), 291-302, 2010.

Vibrans, A. C.; Sevegnani, L.; Uhlmann, A.; Schorn, L.A.; Sobral, M.G.; Gasper, A.L.; Lingner, D.V.; Brogni, E.; Klemz, G.; Godoy, M.B.; Verdi, M. Structure of Mixed Ombrophylous Forests with *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) under external stress in southern Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, 59 (3), 1371-1387, 2011.