

MonitoraSC: um novo mapa de cobertura florestal e uso da terra do estado de Santa Catarina

Alexander Christian Vibrans¹, Adilson Luiz Nicoletti², Veraldo Liesenberg³, Julio Cesar Refosco¹, Luciana Pereira de Araújo Kohler⁴, Artur Ricardo Bizon⁵, Débora Vanessa Lingner², Fernanda Dal Bosco⁶, Marcus Moresco Bueno⁶, Murilo Schramm da Silva² e Thales Bohn Pessatti⁶

Resumo – Um mapeamento da cobertura florestal e dos diferentes usos da terra proporciona informações fundamentais para a gestão territorial visando ao desenvolvimento social e econômico, planejamento e controle ambiental e proteção dos recursos naturais. Neste artigo, é apresentado um novo mapeamento, valendo-se de sinergias entre os dados de campo do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) e o uso de recursos de sensoriamento remoto. Imagens do satélite Landsat-8 OLI do ano de 2017 foram classificadas, utilizando o algoritmo Random Forest. A legenda é composta por 12 classes temáticas; a área mínima mapeada é de 0,5 hectare. O mapa tem acurácia geral de 95%, com intervalo de confiança de 1,0% (alfa=0,05). A acurácia média por classe varia entre 90% (agricultura) e 97% (restinga). Para a classe floresta, o mapa apresentou coincidência de 96,2% com os pontos amostrais do IFFSC. A cobertura florestal nativa (florestas a partir do estágio médio de regeneração) está presente em 38,05% do território, reflorestamentos em 10,46%, agricultura em 16,73% (incluindo 1,77% de culturas de arroz irrigado), pastagens e campos naturais em 29,24%. A área da extensão original da restinga foi determinada em 1.773km², dos quais 814,5km² (ou 45,9%) cobertos por remanescentes naturais, praias e dunas. O mapeamento constitui a base para a tomada de decisão de agentes públicos envolvidos em atividades de planejamento e gestão territorial e servirá como linha-base para o monitoramento contínuo da extensão da cobertura florestal do estado.

Termos de indexação: Mapeamento temático; Cobertura florestal; Classificação Random Forest.

MonitoraSC: a new forest cover and land use map of Santa Catarina state

Abstract – A forest cover and land use map provides fundamental information for territorial management, aiming at socioeconomic development, environmental planning and control and protection of natural resources. In this article, a new forest cover map is introduced, using synergies between field data from Santa Catarina Floristic and Forest Inventory (IFFSC) and remote sensing data. Landsat-8 OLI images (2017) were classified using the Random Forest algorithm. Twelve thematic classes were mapped; the minimum mapping area is 0.5 hectare. The map has an overall accuracy of 95%, with a confidence interval of 1.0% (alpha = 0.05). The average accuracy per class varies between 90% (agriculture) and 97% (restinga). Concerning the forest class, the map showed a 96.2% coincidence with the IFFSC sample points. Native forest cover (forests from the intermediate regeneration stage on) is present in 38.05% of the territory, reforestation in 10.46%, agriculture in 16.73% (including 1.77% of irrigated rice crops), pastures and natural savanna in 29.24%. The area of the original extension of the restinga was determined to be 1,773 km², of which 814.5 km² (or 45.9%) are covered by natural remnants, beaches and dunes. This mapping forms the basis for decision-making by public agents involved in territorial planning and management activities and will serve as a baseline for the continuous monitoring of the extent of the state's forest cover.

Index terms: Thematic mapping; Forest cover; Random Forest classification.

Introdução

As florestas protegem alguns dos bens mais preciosos que garantem a nossa sobrevivência, como mananciais de água, solos, flora e fauna, além de fixar e estocar o carbono atmosférico e de regular o clima em escala local, regional e global. Os inventários florestais têm por finalidade obter dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais, fornecendo informações básicas para o

planejamento de atividades de manejo e conservação das florestas (TOMPPO et al., 2010). Os inventários subsidiam a tomada de decisão num nível mais amplo e podem ser realizados em escala regional de detalhe ou de semidetalhe, fundamentando o direcionamento de políticas públicas relativas ao uso e à conservação dos recursos florestais e a adoção de medidas concretas para sua implementação.

Os inventários florestais de grande

abrangência têm necessariamente dois componentes: o levantamento terrestre de variáveis que caracterizam a composição e a estrutura das florestas, usualmente por meio de amostragem sistemática, e o mapeamento da extensão territorial das diversas formações florestais, por meio de técnicas de sensoriamento remoto (KÖHL et al., 2006; VIDAL et al., 2010).

O estado de Santa Catarina carece de uma estrutura que armazene, inter-

Recebido em 5/1/2021. Aceito para publicação em 8/4/2021.

<http://dx.doi.org/10.52945/rac.v34i2.1086>

¹Engenheiro Florestal, Dr., Universidade Regional de Blumenau, FURB, Rua São Paulo, 3250, 89030-000, Blumenau, SC, fone: (047) 3221 6046, e-mail: acv@furb.br, refosco@furb.br.

²Engenheiro (a) Florestal, MSc., FURB, e-mail: alnicoletti@furb.br, dlingner@furb.br, muriloschramm@furb.br.

³Engenheiro Florestal, Dr. Udesc, CAV, Av. Luís de Camões, 2090, 88520-000 Lages, SC, fone: (49) 3289-9301, e-mail: veraldo.liesenberg@udesc.br.

⁴Bacharel em Ciência da Computação, MSc., FURB, e-mail: lpa@furb.br.

⁵Acadêmico do Curso de Ciência da Computação, FURB, e-mail: abizon@furb.br.

⁶Engenheira (o) Florestal, FURB, e-mail: fdalbosco.eng@gmail.com, marcusboeno@gmail.com, thalesbohn@gmail.com.

prete e compare os diferentes dados de sensoriamento remoto, permitindo a contínua análise temporal, com a aquisição periódica de dados e a produção de relatórios sobre a extensão da sua cobertura florestal remanescente, bem como sobre expansão e a retração desta e dos outros usos da terra.

O último levantamento da cobertura florestal havia sido realizado pelo Estado no âmbito do Projeto de Proteção à Mata Atlântica (PPMA), com base em imagens de 2005 (GEOAMBIENTE, 2008). Desde então, o Estado investiu no Levantamento Aerofotogramétrico de 2010 (SANTA CATARINA, 2012), continuando a depender, no entanto, para conhecer a extensão de sua cobertura florestal, de iniciativas externas como Fundação SOS Mata Atlântica (2017) ou do programa PROBIO do Ministério do Meio Ambiente (Cruz & Vicens, 2007).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivos: i) abordar a metodologia utilizada na elaboração do mapa temático do projeto MonitoraSC, ii) apresentar os níveis de acurácia alcançados por tema, iii) apresentar as estimativas de áreas da cobertura florestal e dos demais usos da terra em Santa Catarina.

Materiais e métodos

O método usado na pesquisa foi um fator de relevante importância para o desenvolvimento do mapeamento devido ao seu caráter inovador, uma vez que não existem mapeamentos similares que contemplem i) uma legenda de múltiplos usos da terra, ii) uma abrangência em escala regional e iii) escala e detalhamento similares ao MonitoraSC. Após conclusão de testes metodológicos preliminares, optou-se por utilizar imagens de reflectância ao nível de superfície, do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite *Landsat-8*, do ano-base 2017, assistido por outros produtos com resoluções espacial e espectral diversas. Esta decisão foi motivada pelo fato de possibilitar a execução de estudos por meio de análises temporais de amplo espectro com a obtenção de imagens anteriores aos satélites *Landsat-5* e *7*, como também com imagens de futuras missões previstas pela Nasa. Todos os arquivos utilizados e gerados, em formato *raster* ou vetor, foram georreferenciados, utilizando *Datum* WGS 84; os valores de área dos polígonos gerados de cada classe temática foram

calculados adotando Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Os estudos preliminares também mostraram que o mapeamento de todo o território catarinense, por meio de um único processo de classificação, não atenderia os requisitos mínimos de detalhamento (uma escala compatível com aplicação local, em nível municipal), área mínima mapeada de 0,5 hectare e alto nível de confiabilidade (“acurácia”) do mapa.

Por estas razões, decidiu-se realizar a classificação de áreas menores, denominadas “Folhas”; estas são divisões equivalentes às cartas do Mapeamento Sistemático Brasileiro na escala 1:100.000, com área de aproximadamente 2.700km² cada uma. Assim sendo, foram realizadas 42 classificações independentes que compõem o produto final, o que tornou possível contemplar as particularidades regionais e locais, causadas por diferenças de latitude, longitude, altitude, relevo e padrão de ocupação, bem como por efeitos atmosféricos que influenciam, de forma diversa, as 10 cenas *Landsat-8* que cobrem o Estado.

As imagens de todas as folhas foram classificadas utilizando o mesmo algoritmo de classificação supervisionada, *Random Forest* (RF) (BREIMAN, 2001). No entanto, as respectivas combinações de bandas utilizadas (bandas originais *Landsat-8* e bandas artificiais), bem como os pontos (amostras) de treinamento do classificador e de validação dos resultados, são específicas de cada uma das folhas.

A legenda do mapa é composta por 12 classes temáticas (Tabela 1). Nem todas as classes estão presentes em todas as folhas cartográficas. Algumas das classes (Floresta, Reflorestamento, Agricultura, Pastagem) foram divididas para fins de caracterização espectral e classificação. Isto se fez necessário devido à heterogeneidade destas classes, em termos de densidade, estado de desenvolvimento, idade, diferenças sazonais e outras características. Ao final do processo, as respectivas áreas das subclasses foram somadas, compondo o total da respectiva classe por folha e para o estado todo.

Classe Floresta

O projeto MonitoraSC adota o seguinte conceito da classe “floresta”:

vegetação arbórea/arbustiva, com altura total média maior que 4m e área basal maior que 8m² ha⁻¹. Estes limiares coincidem com os da Resolução CONAMA 04/1994 (BRASIL, 1994), que caracterizam formações florestais no estágio médio da sucessão secundária ou em estágios mais avançados. Ao mesmo tempo, estas formações são reconhecíveis em imagens multiespectrais de resolução espacial média (30x30m), com as técnicas e procedimentos previstos no projeto.

Classes Reflorestamento e Agricultura

Os reflorestamentos são entendidos como plantações florestais de espécies exóticas e de *Araucaria angustifolia*. Por outro lado, os plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), a viticultura e a fruticultura (maçã, pera, kiwi, goiaba-da-serra, maracujá, banana, oliveira, entre outras), bem como a horticultura e as lavouras mecanizadas anuais e bianuais, constam na classe “agricultura”. Por precaução, as áreas de reflorestamentos que sofreram corte raso em 2017 e cujo replantio ou rebrota não foi comprovado, mesmo que em imagens posteriores, foram mapeadas como pastagens, uma vez que a pecuária é o uso mais frequente de áreas abandonadas ou não cultivadas temporariamente, evitando-se assim superestimar a extensão das mesmas.

Pastagem e Campo Natural

Apesar de esforços empreendidos na primeira fase do MonitoraSC, não foi possível diferenciar áreas de pastagens (consideradas aquelas com plantio de gramíneas), das áreas de campos naturais, nas imagens utilizadas. Desse modo, tomou-se o cuidado de identificar como áreas de “pastagem e campos naturais” todas as áreas não classificadas nas classes floresta, reflorestamento e agricultura. Estas áreas incluem tanto “pasto sujo” com regeneração de plantas herbáceas e subarbustivas, como pastagens com árvores de porte maior, mas dispersas, como vários tipos de lavouras abandonadas, ou ainda áreas não classificadas nas demais 11 classes de uso da terra. ▶

Tabela 1. Legenda do mapeamento temático do projeto MonitoraSC
 Table 1. Legend of MonitoraSC Project thematic mapping

Classe	Legenda geral	Legenda detalhada com subclasses
1	Floresta (≥estágio médio)	Floresta 1, 2, 3...
2	Reflorestamento	Reflorestamento1, 2, 3...
3	Agricultura	Agricultura 1, 2, 3...
4	Arroz irrigado	-
5	Pastagem e Campo Natural	Pastagem 1, 2, 3...
6	Solo exposto e mineração	-
7	Área edificada/urbana	-
8	Corpos d'água	-
9	Restinga	Restinga arbórea, arbustiva, herbácea frontal, herbácea de dunas, herbácea alagada, arbórea e arbustiva em dunas
10	Dunas e praias	Praia, duna 1,2
11	Mangue	De acordo com o mapeamento da vegetação de mangue brasileira, do Ibama (2018)
12	Outra vegetação não florestal	Vegetação herbácea pantanosa do tipo "Marsch"

Restinga

Ao longo do desenvolvimento do mapeamento da restinga, percebeu-se a necessidade de diferenciar entre a área potencialmente ocupada pela restinga ("área potencial") e a área de remanescentes das diversas subformações da restinga atualmente existentes. Por esta razão, foram identificadas estas duas áreas separadamente: i) área do território catarinense potencialmente (ou originalmente) ocupado pelas diferentes subformações de restinga, de acordo com critérios geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos e edáficos, sendo atualmente cobertos por vegetação de restinga ou não. A delimitação desta área foi resultado de sobreposição e coincidência de mapeamentos temáticos de geodiversidade de fontes como Embrapa (2004), IBGE (2004 a, b) e CPRM (2016); ii) área de remanescentes atuais de restinga, detectadas com ajuda de ferramentas de sensoriamento remoto, abrangendo as subformações restinga arbórea, arbustiva, herbácea, herbácea alagada, além de dunas e praias.

Classificação

Nas folhas a serem classificadas foram implantados, de forma aleatória, aproximadamente 90 mil pontos (pixels) para treinamento do algoritmo de

classificação, posteriormente ampliados para uma janela de 3 x 3, ou seja, de 9 pixels. Estas amostras abrangem as 12 classes temáticas. As classes solo exposto, arroz irrigado e área construída/urbana não foram classificadas juntas com as demais classes temáticas. As áreas destas classes foram determinadas previamente, por meio de classificação binária, com posterior verificação e edição manual. As respectivas "máscaras" destes três temas foram inseridas no mapa após a classificação dos nove temas restantes. Este procedimento permitiu maior eficácia da classificação, eliminando fontes de incertezas e má classificação (confusão) dos temas objetos do projeto.

Para cada folha, várias classificações (no mínimo quatro) foram executadas e suas acurácias comparadas, as quais foram calculadas a partir de uma matriz de erros, na qual estão tabulados, de forma cruzada, erros e acertos entre os dados de classificação (habitualmente nas linhas) e de referência terrestre (nas colunas). A matriz permite computar a acurácia geral e por classe temática, bem como a área estimada por classe com o respectivo intervalo de confiança (OLOFSSON et al., 2014). As classificações foram executadas com as 6 bandas originais do Landsat-8 OLI, com e sem correção topográfica computada pelo algoritmo SCS+C (SOENEN et al., 2005). As diferentes bandas artificiais foram

acrescentadas às análises, tais como:

- NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) (ROUSE et al., 1974);
- NDWI 2 (Índice de Água da Diferença Normalizada 2) (McFEETERS, 1996);
- EVI2 (Índice de Vegetação Melhorado2) (HUETE et al., 2002; JIANG et al., 2008);
- BI (Índice de solo exposto) (CHEN et al., 2004);
- DBSI (Índice de solo seco exposto) (RASUL et al., 2018);
- NDBI (Índice de Solo Exposto da Diferença normalizada) (ZHA et al., 2003);
- DEM (Modelo Digital de Elevação/declividade/exposição) (SANTA CATARINA, 2012; NASA/SRTM (FARR et al., 2007), entre outras.

Estas bandas foram escolhidas individualmente, para cada folha, entre aquelas que acrescentaram variabilidade não correlacionada e, assim, novas informações puderam ser acrescentadas às bandas originais, minimizando redundância e covariação com informações existentes. Valores de média, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do ano destas bandas artificiais foram utilizados para identificar, por exemplo, culturas agrícolas cuja resposta espectral muda sazonalmente. A classificação com maior acurácia em todas as classes temáticas foi escolhida para ser aplicada na respectiva folha.

Revisão/edição da classificação e validação pós-edição

Após a classificação, a detalhada verificação e eventual edição de erros grosseiros de classificação foram realizadas por folha, em células de 5,2 x 3,5km, numa escala de trabalho fixada em 1:20.000 (Figura 1). Imagens de alta resolução espacial, com as do Aerolevante do Estado (SANTA CATARINA, 2012) e outras do aplicativo *Google Earth* foram utilizadas para tal verificação e correção manual de erros. Esta edição foi seguida de nova validação e análise de acurácia (pós-edição) do mapa. Para as duas validações (pré- e pós-edição), foram utilizados outros 30.804 pontos de controle, lançados aleatoriamente sobre todas as folhas (com cerca de 730

pontos por folha), abrangendo todas as classes temáticas.

O cômputo das acurácias pré-edição e pós-edição (portanto do produto final do mapeamento) seguiu o método desenvolvido por Olofsson et al. (2014), que permite determinar a acurácia com intervalo de confiança para cada classe temática separadamente. Além disso, permite calcular as estimativas das áreas (com intervalo de confiança) ocupadas por cada classe, baseando-se nos índices de acurácias encontradas em cada uma das folhas. Por último, um filtro espacial majoritário foi aplicado, configurado para eliminar pixels solitários de todas as classes (com exceção da classe corpos d'água), mantendo todas as áreas maiores ou iguais a 5 pixels da mesma classe, o que resultou em uma área mínima mapeada de 4.500m², ou seja, 0,5 hectare. Aos usuários é recomendada, no entanto, a visualização do mapeamento na escala de 1:50.000.

Software e scripts

Os inúmeros procedimentos de pré e pós-processamento exigiram rotinas computacionais complexas. Para executá-las em cada uma das mais de 120 cenas do sensor OLI (Landsat-8), foram processados e desenvolvidos em cada uma das folhas mais de 30 códigos (*scripts*), originalmente elaborados em *Javascript* (para uso na plataforma *Google Earth Engine* - GEE) e *R*, e posteriormente aperfeiçoados e transcritos para a linguagem *Python* na plataforma *Anaconda*. Outros passos operacionais foram realizados nos *softwares* *ENVI* 5.4, *ArcGis* 10.7 e *QGIS* 3.12. Todos os procedimentos, produtos intermediários, parâmetros e metadados foram documentados para cada folha em um banco de dados disponibilizado aos órgãos públicos do Estado. Os *scripts* estão disponíveis em um repositório do *GitHub* (<https://github.com/LDITFURB/monitora-sc>).

Resultados e discussão

Acurácia

No geral, a acurácia média das folhas classificadas é de 94,96%, com um desvio padrão de 3,31%. Isto quer dizer que esta média apresenta intervalo de confiança de 1,002% para mais e para me-

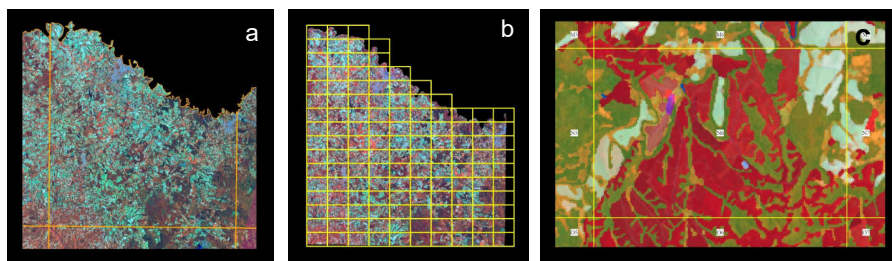


Figura 1. Folha SG-22-Z-A-III (a), com as células de revisão e edição em escala de trabalho de 1:20.000, com área de 5,2 x 3,5 km, cada (b, c)

Figure 1. Sheet SG-22-Z-A-III (a), with cells of 5.2 x 3.5km each, for revision and edition at 1:20.000 work scale (b, c)

nos. Dessa maneira, a acurácia geral (todas as classes) do mapeamento de Santa Catarina encontra-se no intervalo entre 93,96% e 95,96%, aplicado a um nível de probabilidade de 95% ($\alpha=0,05$). Os valores de acurácia do produtor e do usuário por classe constam na Tabela 2. Em relação às 449 Unidades Amostrais (UA) da classe “floresta” do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) (VIBRANS et al., 2020), o mapa *MonitoraSC* mostrou coincidência de 96,2%. Em poucos casos (17 entre 449), áreas com florestas do IFFSC foram atribuídas no mapa a outras classes que, em campo, muitas vezes ocorrem juntas com remanescentes florestais de menor densidade, em mosaicos de diferentes usos da terra (agricultura, pastagem, reflorestamentos). Os valores das áreas mapeadas por classe (que representam a soma da área dos polígonos de cada classe) encontram-se dentro dos intervalos de confiança ao redor da área média estimada pelo método de Olofsson et al. (2014). Como este método de estimativa considera os erros e acertos do classificador para cada classe num nível de probabilidade de 95%, este resultado é uma comprovação da eficácia e da confiabilidade do mapa temático gerado. A classificação supervisionada com uso do algoritmo *Random Forest*, de forma compartimentada e independente em 50 folhas cartográficas no território catarinense, seguida de revisão e edição manual de possíveis erros na escala 1:20.000, permitiu elaborar um produto de consistência inédita.

Cobertura florestal e outros usos da terra

Os mapas e respectivas tabelas, referentes à cobertura e ao uso da terra de municípios, bacias hidrográficas, micro e mesorregiões, entre outros, podem

ser acessados e os respectivos arquivos baixados no servidor de mapas em <http://monitora.furb.br/>. O mapa *MonitoraSC* detectou para o ano de 2017 uma cobertura florestal nativa (florestas em estágio médio de regeneração ou mais avançado) em 38,05% do território catarinense, reflorestamentos em 10,46%, agricultura em 16,73% (incluindo 1,77% de culturas de arroz irrigado), e pastagens e campos naturais em 29,24% (Tabela 3; Figura 2). A cobertura florestal da Floresta Ombrófila Densa é de 47,79%; na Floresta Ombrófila Mista é de 33,91% e na Floresta Estacional Decidual é de 29,11%. Os reflorestamentos nestas áreas ocupam 7,37%, 12,89% e 5,58%, respectivamente. Entre as mesorregiões, as de Florianópolis (65,55%) e do Vale do Itajaí (54,15%) mostram os maiores valores de cobertura florestal e a mesorregião do Oeste Catarinense a menor (27,36%) (Figura 4f). A mesorregião Serrana apresenta o maior percentual de reflorestamento (13,7%).

Entre as 23 bacias hidrográficas do Estado, seis mostram cobertura florestal menor que 30%, dez entre 30 e 50% e sete acima de 50% (Figura 3a). Entre os municípios, um terço mostra cobertura florestal abaixo do desejável (>30%), 64 têm cobertura florestal menor que 20% e outros 50 mostram entre 20 e 30% (Figura 3b). Em outros, foi observada uma elevada concentração de algumas culturas: Santa Cecília (43,1%), Otacílio Costa (33,9%), Palmeira (32,8%), São Cristóvão do Sul (32,6%) e Vargem Bonita (30,3%) apresentam os maiores adensamentos de reflorestamentos (Figura 4d). As maiores áreas de cultura do arroz irrigado foram encontradas em Meleiro (70,5%), Ermo (66,4%), Forquilha (59,9%), Turvo (59,5%), Nova Venéza (34,1%), Maracajá (30,5%) e Capivari de Baixo (30,3%) (Figura 4e).

Em relação à restinga, Santa Catari-▶

na apresenta uma área original estimada em 1.773 km², dos quais 45,9% mostraram a presença de remanescentes naturais em 2017, entre as formações de restinga arbórea, arbustiva, herbácea (frontal, de dunas, alagada), praias e dunas. Entre as maiores classes antropizadas foram encontradas pastagens (em 23,2% da restinga original), áreas construídas e urbanas (em 18,5%) e reflorestamentos (em 8,97%).

Deve ser destacado o ineditismo do mapeamento das classes arroz irrigado, área construída/urbana e restinga (área potencial e remanescentes) em Santa Catarina. Da mesma forma, é preciso lembrar que, pela primeira vez, foi produzido um mapa temático detalhadamente validado por edição visual em toda a sua extensão, na escala de 1:20.000.

Em comparação com outros mapeamentos, o do Atlas da Fundação SOS Mata Atlântica (2017) indica para o ano de 2017 uma cobertura florestal de 23,2% e o projeto MapBiomias para o mesmo ano 43%, frente aos 38,05% do MonitoraSC. Este último supera também os valores de 28,9% a 36,8% de cobertura florestal gerados usando os pontos amostrais do IFFSC para computar estimativas assistidas por modelo (MAR), aplicadas a mapeamentos de 2001, 2005 e 2008 (VIBRANS et al., 2013). Reflorestamentos não foram contemplados pela Fundação SOS Mata Atlântica (2017), enquanto o Projeto MapBiomias (2020) contabiliza 11,3%

Tabela 2. Acurácia geral do mapeamento MonitoraSC e por classe, em percentual, com intervalo de confiança (IC) (alfa=0,05)

Table 2. MonitoraSC map general accuracy and accuracy by thematic class, in percentage and confidence interval (CI) (alfa=0.05)

Tema/classe	Acurácia produtor		Acurácia usuário	
	Acurácia média (%)	IC +/- (%)	Acurácia média (%)	IC +/- (%)
Acurácia Geral	94,96% (IC 1,0)			
Agricultura	89,92	4,2	90,47	2,7
Arroz irrigado	94,12	4,3	97,58	1,3
Floresta	96,65	0,9	96,65	0,8
Reflorestamento	91,91	2,3	95,76	1,3
Pastagem/campo	92,39	2,2	93,95	1,2
Solo exposto/mineração	92,26	6,4	94,19	2,1
Corpos d'água	90,71	4,4	96,81	1,9
Área construída/urbana	94,78	3,7	94,55	2,1
Restinga	96,83	3,0	98,76	1,1
Mangue	90,55	16,0	97,35	2,1

em Santa Catarina para o ano de 2017, frente aos 10,5% do MonitoraSC. O mapeamento do projeto MonitoraSC foi elaborado com metodologia inovadora (semiautomática), documentada, transparente, replicável e de códigos abertos. Ele constitui a base para a tomada de decisão de agentes públicos envolvidos em atividades de planejamento e gestão territorial, licenciamento e controle ambiental, outorga de recursos hídricos, comercialização de certificados de crédito de carbono, implantação de esquemas de pagamento de serviços

ambientais, entre outras. Da mesma forma, este mapeamento servirá como linha base para o monitoramento contínuo da extensão da cobertura florestal do Estado.

Disponibilização dos mapas

O mapeamento do MonitoraSC referente ao ano de 2017 está disponível para visualização e *download*, nos formatos *raster* e *vetor (shapefile)*, no *webserver* GeoNode, no endereço: <http://monitora.furb.br/>. A plataforma possi-

Tabela 3. Áreas por classe temática no Estado e por região fitoecológica (KLEIN,1978), em km² em porcentagem (%)

Table 3. Thematic class areas mapped by state and phytoecological region (KLEIN,1978), in km² and %

Classe	Santa Catarina		Floresta Estacional Decidual		Floresta Ombrófila Densa		Floresta Ombrófila Mista	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta natural	36.180,71	38,05	2.367,05	29,11	14.907,36	47,79	18.906,29	33,91
Reflorestamento	9.942,34	10,46	454,05	5,58	2.300,62	7,37	7.187,67	12,89
Agricultura	14.219,54	14,96	1.850,15	22,75	1.622,78	5,20	10.746,62	19,28
Arroz irrigado	1.683,38	1,77	-	-	1.650,66	5,29	32,72	0,06
Pastagem/Campo	27.804,43	29,24	2.961,53	36,42	7.335,79	23,51	17.507,11	31,40
Solo exposto	355,73	0,37	2,68	0,03	87,30	0,28	265,76	0,48
Área construída/urbana	2.453,35	2,58	128,77	1,58	1.623,84	5,21	700,73	1,26
Corpos d'água	1.398,54	1,47	368,36	4,53	624,04	2,00	406,14	0,73
Restinga	742,90	0,78	-	-	742,90	2,38	-	-
Praia e duna	71,61	0,08	-	-	71,61	0,23	-	-
Mangue	117,07	0,12	-	-	117,07	0,38	-	-
Outra veg. não florestal	112,48	0,12	-	-	112,48	0,36	-	-
Total	95.082,10	100	8.132,58	100	31.196,47	100	55.753,04	100

Obs.: Floresta Ombrófila Densa inclui Vegetação Litorânea; Floresta Ombrófila Mista inclui Floresta Nebular, Floresta de Faxinais e Campos naturais.

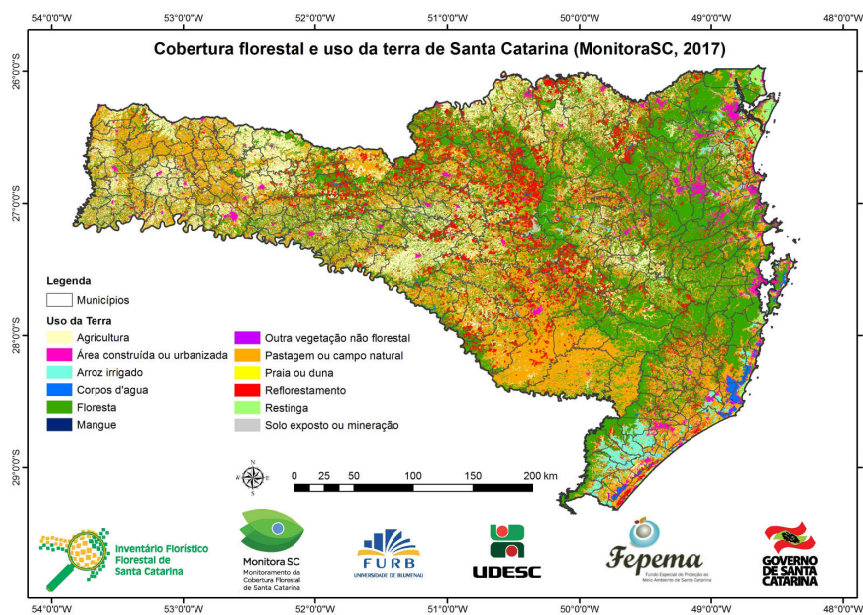


Figura 2. Cobertura florestal e demais usos da terra em Santa Catarina (2017)
 Figure 2. Forest cover and other land uses in Santa Catarina (2017)

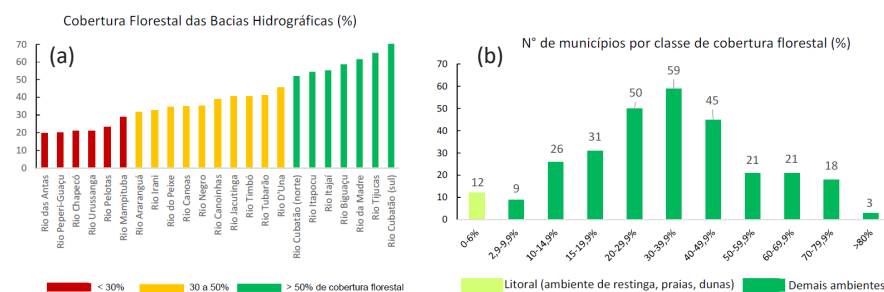


Figura 3. Cobertura florestal por bacia hidrográfica (a) e número de municípios por classe de cobertura (b), Santa Catarina, 2017
 Figure 3. Forest cover by water basin (a), county (b) and forest cover class, Santa Catarina, 2017

bilita a aplicação de filtros com todas as unidades espaciais (regiões fitoecológicas, meso e microrregiões, bacias hidrográficas, municípios, associações de municípios e unidades de conservação), gerando tabelas com os valores de cada classe temática em hectare e em percentual (ferramenta 'query'). Clicando em uma das unidades espaciais, por exemplo, um município (ferramenta 'identify'), é aberta uma janela do tipo 'pop-up' com os valores de cobertura florestal e uso da terra deste município. Um módulo (mapa) específico está disponível em formato *shapefile*, contendo os polígonos da restinga original (potencial) e dos remanescentes de restinga.

Conclusões

- O novo mapa de cobertura florestal e uso do solo, com ano base de 2017

revelou uma cobertura florestal nativa de 38% para Santa Catarina, incluídos todos os remanescentes com florestas em estágio médio e avançado de regeneração e florestas maduras, além de 10,5% de florestas plantadas;

- Este novo mapa apresenta acuracidade de 95% para todas as 12 classes temáticas mapeadas, com um nível de probabilidade de 95% (alfa=0,05);

- Pela primeira vez, foram mapeadas em todo o Estado as áreas de rizicultura irrigada, os remanescentes de restinga e a área originalmente coberta por restinga.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econô-

mico Sustentável (SDS) e às Diretorias de Clima e Biodiversidade e de Recursos Hídricos pelo apoio e pelo financiamento deste estudo, realizado com recursos do Fundo Especial de Proteção ao Meio Ambiente de Santa Catarina (Fepema). O primeiro e o terceiro autores são apoiados por bolsas de produtividade em pesquisa do CNPq (309764/2019-0 e 313887/2018-7).

Referências

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v.45, n.1, p.5-32, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.

CHEN, W.; LIU, L.; ZHANG, C.; WANG, J.; WANG, J.; PAN, Y. Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images. **IGARSS 2004. Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings**, IEEE, vol.5, p.3379-3382, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1370429>.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 4, de 4 de maio de 1994**. Convalidada pela Resolução CONAMA nº 388/07 para fins do disposto na Lei 11.428, de 22 de dezembro de 2006.

VIERO, A.C.; SILVA, D.R.A. da. **Geodiversidade do estado de Santa Catarina: Programa Geologia do Brasil**. Levantamento da Geodiversidade. Porto Alegre, RS: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2016. 155p.

CRUZ, C.B.M.; VICENS, R.S. **Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica**. Relatório Final. Rio de Janeiro, RJ: IESB/IGEO/UFRJ/UFF, 2007. 84 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, RJ, 2004. (Embrapa Solos, CD-ROM. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46). Apoio EPAGRI - Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina. Escala: 1:250.000.

FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission, **Reviews of Geophysics**, v.45, p.1-33, RG2004/2007, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.

FUNDAÇÃO S.O.S MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2015-2016**. Relatório Técnico. São Paulo, SP, 2017. 60p. (Fundação S.O.S. Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). ▶

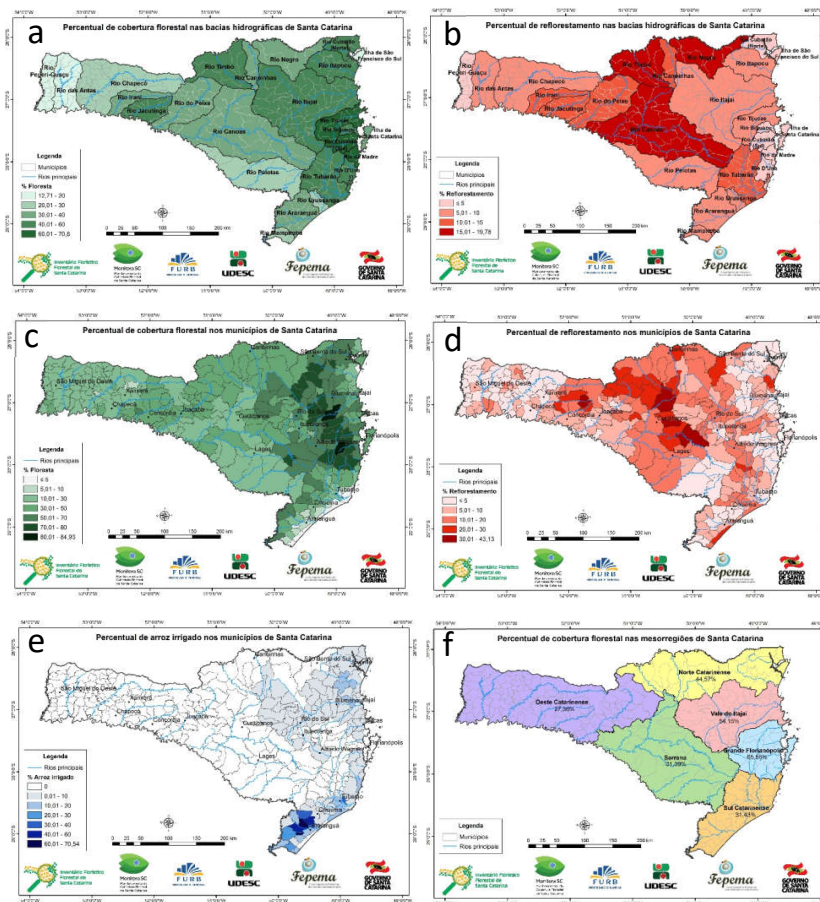


Figura 4. Cobertura florestal (a,c,f), reflorestamentos (b,d) e rizicultura irrigada (e) por bacia hidrográfica, mesorregião e município em Santa Catarina, 2017
 Figure 4. Forest cover (a,c,f), forest plantations (b,d) and irrigated rice (e), by basin, mesoregion and county in Santa Catarina, 2017

GEOAMBIENTE. **Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina**: Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina (PPMA/SC). Relatório Técnico. São José dos Campos, SP, 2008. 90p.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; X. GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, n.1-2, p.195-213, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).

IBAMA. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília, DF, 2018. 175p.

IBGE. **Mapa Geomorfologia - Folhas SG 22-Z-B, SG 22-Z-D, SH 22-X-B**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro, RJ, 2004a.

IBGE. **Mapa Pedologia - Folhas SG 22-Z-B, SG 22-Z-D, SH 22-X-B**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro, RJ, 2004b.

JIANG, Z.; HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, v.112,

n.10, p.3833-3845, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>.

KLEIN, R.M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina**. Itajaí, SC, 1978. 24p. (SUDSUL, FATMA, HBR, Flora Ilustrada Catarinense, 5).

KÖHL, M.; MAGNUSSEN, S.S.; MARCHETTI, M. **Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory**. Springer, Heidelberg, Alemanha, 2006. 372p.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-BR>. Acesso em: 05 nov. 2020.

OLOFSSON, P.; FOODY, G.M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S.V.; WOODCOCK, C.E.; WULDER, M.A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote*

Sensing of Environment, v.148, n.1, p.42-57, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.

RASUL, A.; BALZTER, H.; IBRAHIM, G.R.F.; HAMEED, H.M.; WHEELER, J.; ADAMU, B.; IBRAHIM, S.; NAJMADDIN, P.M. Applying built-up and bare-soil indices from Landsat 8 to cities in dry climates. *Land*, v.7, n.3, p.81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/land7030081>.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHEEL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCE TECHNOLOGY SATELLITE (ERTS) SYMPOSIUM, 3rd, 1974. Proceedings [...]*, vol.1, p.48-62, 1974.

SANTA CATARINA. **Levantamento Aerofotogramétrico**. Relatório de Produção Final. Florianópolis, SC, 2012. 218p. (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável).

SOENEN, S.A.; PEDDLE, D.R.; COBURN, C.A. SCS+C: A modified Sun-Canopy-Sensor topographic correction in forested terrain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.43, n.9, p.2148-2159, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2005.852480>.

TOMPO, E.; GSCHWANTNER, T.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R.E. **National Forest Inventories: Pathways for Common Reporting**. Springer, Heidelberg, Alemanha, 2010. 609p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3233-1>.

VIBRANS, A. C.; MCROBERTS, R. E.; MOSER, P.; NICOLETTI, A. L. Using satellite image-based maps and ground inventory data to estimate the area of the remaining Atlantic forest in the Brazilian state of Santa Catarina. *Remote Sensing of Environment*, v.130, n.1, p.87-95, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.023>.

VIBRANS, A.C; GASPER, A.L.; MOSER, P.; OLIVEIRA, L.Z.; LINGNER, D.V.; SEVEGNANI, L. Insights from a large-scale inventory in the southern Brazilian Atlantic Forest. *Scientia Agricola*, v.77, n.1, p.1-12; e20180036, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0036>.

VIDAL, C.; ALBERDI, I.; HERNÁNDEZ, L.; REDMOND, J.J. **National Forest Inventories**. Springer, Heidelberg, Alemanha, 2010. 845p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44015-6>.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.24, n.3, p.583-594, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>. ■