

A High Resolution Image Based Approach for Estimating the Canopy Cover of a Semi-Deciduous Brazilian Atlantic Forest Fragment

T. Yamada, E. C. Pedrino, M. C. Nicoletti and L. E. Moschini

Abstract— The Atlantic Forest in Brazil has been suffering natural and anthropic perturbations over the years, which has been impacting, qualitatively and quantitatively, with different degrees and intensities, its canopy cover. These perturbations can be caused by the selective cut of species, burning, natural death of trees, among several other factors, which act directly on the composition and the floristic diversity of fragments of the forest. The main motivation for conducting this work was to alert about the relevance of the Atlantic forest conservation and the need for a constant monitoring system to preserve what has been left of it. This can be partially achieved by permanently estimating its canopy cover. This paper describes the implementation and evaluation of the descriptors: energy, entropy, homogeneity, contrast and the sum of the high-frequency Discrete Fourier Transform (DFT), for estimating canopy cover based on High Resolution Camera (HRC) satellite images. The analyses carried out based on the results of the experiments showed that the energy descriptor was the best descriptor among those used and, comparatively to the others, obtained the higher correlation (r), determination (R^2) and significance (p). Based on the experiments, the energy descriptor presented an expressive potential to be used in processes for estimating the canopy cover based on satellite images, in large areas of the semi-deciduous forest.

Index Terms – Forest Canopy Cover Estimation, Forest Image Processing, Remote Sensing

I. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

Como informado em [1][2], no início da colonização portuguesa do Brasil, no ano de 1500, a Mata Atlântica brasileira possuía 1.300.000km² de extensão, submetida a condições ambientais altamente heterogêneas e com alcance latitudinal em torno de 29°, exibindo sub-regiões tropicais e subtropicais. Sua ampla faixa longitudinal é responsável por afetar a composição florística, considerando a queda de chuvas em regiões distantes das zonas costeiras.

No ano 2000, cerca de 100 milhões de brasileiros viviam em mais de 3.000 cidades construídas em terras desmatadas da Mata Atlântica. Além disso, grande parte da área florestal foi

desmatada para outros propósitos, como agricultura, pecuária, extração de madeira, etc. Em [1], também é informado que dois tipos principais de vegetação compõem a floresta: a floresta costeira (Mata Atlântica) e a floresta sazonal tropical (Mata Atlântica Semidecídua).

O Bioma Mata Atlântica brasileira possui diferentes tipos de vegetação, como floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta semidecídua, floresta decídua, vegetação costeira, manguezais e campos de altitude. Em um espectro de áreas costeiras há montanhas e planaltos interiores [3]. As áreas de transição da Mata Atlântica brasileira são sub-regiões biogeográficas com fenômenos biológicos únicos, onde ocorrem processos evolutivos distintos, como as áreas com florestas interiores com extensão de aproximadamente 698.344km², onde apenas 2,75% são cobertos por florestas [4].

Em [5], os autores comentam que a maior parte do remanescente de Mata Atlântica é composta por pequenos fragmentos isolados e cobertos por florestas secundárias. Em [2] os autores informam que os únicos dados disponíveis para toda a região da Mata Atlântica são os percentuais de floresta remanescente. Dados e informações de diferentes fontes, entretanto, divergem com relação a esse aspecto. De acordo com o informado em [6], tal percentual está em torno de 7-8% de floresta remanescente; de acordo com as informações em [7], o percentual é de 27% e, como informado em [8], o percentual é 10,6%.

Os autores em [2], ao quantificarem quanto ainda resta de Mata Atlântica e analisarem sua distribuição espacial, apresentaram os seguintes dados: área total mapeada, 139.584.893ha, sendo 15.719.337ha cobertos por floresta (11,26%) e 658.135ha (0,47%) cobertos por restinga e vegetação de mangue. Assim, 88,27% da floresta primária foram perdidas e apenas 11,73% da vegetação primária permanecem.

A definição internacional de florestas, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, baseia-se no tamanho da área, na altura das árvores e na porcentagem de cobertura do dossel e é amplamente usada para estimar o desenvolvimento e a produtividade dos ecossistemas [9]. Assim, a análise da cobertura do dossel em florestas tropicais é uma questão de grande importância, pois além de permitir a obtenção de informações sobre as condições de fragmentos florestais, para que possam ser estabelecidas estratégias conservacionistas [10], viabiliza a possibilidade de monitoramento para a detecção de perturbações, tanto antrópicas quanto naturais.

T. Yamada, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil (e-mail: thyago.yamada@gmail.com).

E. C. Pedrino, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil (e-mail: emerson@dc.ufscar.br).

M. C. Nicoletti, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil (e-mail: carmo@ufscar.br).

L. E. Moschini, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil (e-mail: lemoschini@ufscar.br).

Considerando que dentre as abordagens utilizadas atualmente para a obtenção das medidas da estrutura do dossel incluem tanto a obtenção de medidas de sua cobertura, quanto a de medidas relativas à sua textura. Tais medidas são elementos imprescindíveis para a elaboração de uma análise florística e estrutural de um fragmento florestal [9].

Desde o final do século passado, estudos e pesquisas têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar o estado de conservação de fragmentos florestais, relacionados à Mata Atlântica. Muitos de tais estudos se utilizam de metodologias geralmente trabalhosas e caras para mensurar as condições estruturais dos fragmentos florestais; entre as principais estratégias utilizadas, estão: (1) o desenho do perfil vertical, que revela a densidade e a distribuição das espécies vegetais em seus diferentes estratos, permitindo inferir sobre os diferentes estágios sucessionais [11], (2) a análise fitossociológica, que descreve as comunidades vegetais por meio de parâmetros, tais como: densidade, frequência, dominância, valor de importância das espécies e valor de importância de suas famílias [12]-[15], (3) a cobertura do dossel [16]-[21], a abertura do dossel [22][23] e o fechamento do dossel [24][25].

Por um lado, várias das principais estratégias anteriores se mostraram inviáveis de serem utilizadas em regiões com grandes áreas, devido a vários problemas e.g., custo, acessibilidade, mão de obra capacitada, etc. Por outro lado, o desenvolvimento e uso de sensoriamento remoto acabou tornando-se uma opção viável, desde que acoplada às técnicas avançadas de processamento digital de imagem [26]-[28], fornecendo uma combinação eficiente para apoiar a detecção de perturbações naturais e antrópicas em florestas [29]-[36].

Dentre as várias técnicas avançadas e relevantes para estimar estruturas florestais estão: (1) estimar manualmente o diâmetro e a área do dossel [37], (2) interpretar o índice de vegetação alcançado por álgebra de banda [38][39], (3) utilizar a matriz de coocorrência [40]-[42], (4) usar informações espectrais e texturais [43], (5) usar a Transformada Discreta de Fourier (TDF) [32]-[34] e (6) implementar técnicas baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina [44].

Vários dos trabalhos de pesquisa mencionados anteriormente realizaram medições *in loco* de altura, diâmetro, densidade, biomassa da vegetação e utilizaram imagens de satélite para correlacioná-las, por meio de descritores de textura. Entretanto, nenhum dos trabalhos considerou, além dos parâmetros da estrutura da floresta mencionados anteriormente, a cobertura do dossel. Este trabalho adotou a mesma estratégia, mas com foco na cobertura do dossel.

Podem ser encontrados na literatura referenciada no artigo outros estimadores que foram eficientes para estimar a altura, o diâmetro, a densidade e a biomassa da vegetação.

A ideia motivadora para a realização da pesquisa descrita neste trabalho, no entanto, foi a de avaliar cinco descritores de imagem (energia, entropia, homogeneidade, contraste [45] e a soma das altas frequências da Transformada Discreta de Fourier), que são largamente adotados na literatura, e compará-los, para evidenciar qual apresenta os melhores resultados no que tange à estimativa da cobertura do dossel do fragmento florestal utilizando a imagem de câmera de alta resolução (HRC) do Satélite CBERS-2B (Fig. 1).

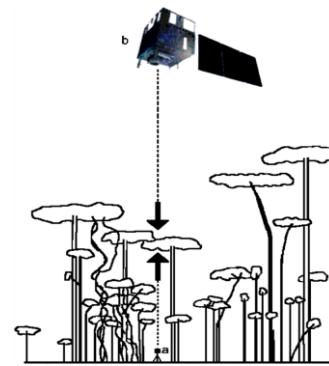


Fig. 1. (a) captura das imagens verticais da cobertura do dossel por meio de câmera fotográfica (b) captura da imagem do fragmento de floresta alvo pelo satélite CBERS-2B.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção está organizada em quatro subseções. A Subseção A apresenta uma breve descrição do fragmento florestal que foi alvo do estudo e fonte dos dados coletados e utilizados nos experimentos realizados e descritos neste artigo.

Em um trabalho anterior, descrito em [21], imagens verticais da cobertura do dossel foram capturadas *in loco* em sete transectos. Uma breve descrição do trabalho realizado está resumida na Subseção B, e tem como objetivo apresentar brevemente um experimento anterior, para referência. A motivação para revisitar um trabalho de pesquisa feito anteriormente, a partir de dados relacionados ao mesmo fragmento florestal, foi a de evidenciar como os dados de cobertura do dossel foram obtidos e tratados.

A Subseção C concentra-se na descrição da imagem HRC do satélite CBERS-2B. A Subseção D apresenta a descrição da metodologia utilizada para a validação da estimativa da cobertura do dossel utilizando a imagem HRC. Nessa subseção são ainda apresentadas as expressões matemáticas associadas aos descritores utilizados no trabalho. A metodologia contempla também o uso de resultados de pesquisa anterior, que foi conduzida utilizando imagens capturadas *in loco*, por meio de câmera fotográfica, nos mesmos transectos do fragmento de floresta foco desse trabalho. Parte do trabalho prévio realizado é resumidamente abordado na Seção C.

A. Descrição do Fragmento de Floresta do Estudo

O trabalho foi realizado com foco no fragmento de floresta semidecídua situado na Fazenda Canchim, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em São Carlos, São Paulo, Brasil, localizado entre as coordenadas de latitude 21°55' e 22°00'S e as coordenadas de longitude 47°48' e 47°52'W (Fig. 2). Duas são as principais razões para a escolha desse particular fragmento como fonte de dados para o trabalho pretendido: (1) um trabalho de pesquisa anterior ter sido realizado com dados desse fragmento, brevemente descrito na Seção B e (2) o fato do fragmento ser um dos mais conservados da região de São Carlos-SP.

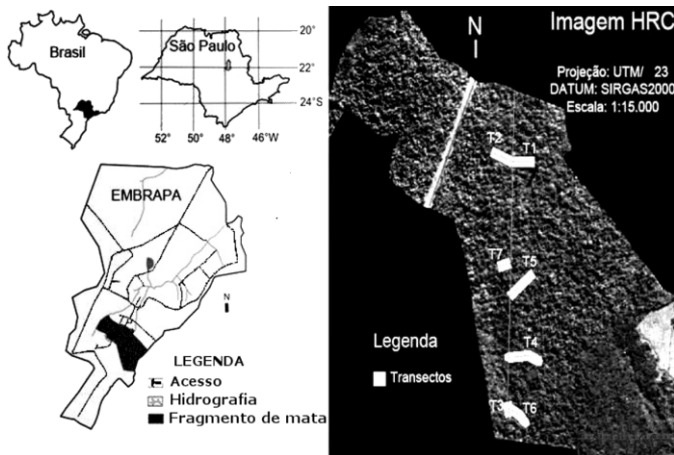


Fig. 2. À esquerda está a localização geográfica do fragmento florestal de estudo, na EMBRAPA (Fazenda Canchim), S. Carlos, S. Paulo e à direita, na imagem HRC, está a localização de cada um dos sete transectos considerados.

O conceito de Reserva Legal (RL) foi instituído no Brasil pelo Código Florestal (CF) em 1934 e sofreu alterações em seu alcance e em seus objetivos ao longo do tempo [46]. Presentemente RL caracteriza uma área geográfica que faz parte de uma propriedade privada ou posse rural, em que é permitida a exploração de forma sustentável. RL é considerada um avanço em termos de legislação, que tem por objetivo evitar o desmatamento de áreas florestais nativas.

O fragmento de floresta semidecídua, fonte dos dados utilizados no trabalho, é caracterizado como uma Reserva Legal. Possui aproximadamente 112 hectares e está inserido em uma topografia plana levemente ondulada, a uma de aproximadamente 850 metros. As alturas das espécies arbóreas nativas encontradas no fragmento estão entre 7 e 25 metros, sem estratificação clara [13][14][47]. Este fragmento em particular tem sido preservado por mais de 70 anos [48].

B. Descrição de Experimento Prévio com Dados Capturados *In Loco*

O trabalho descrito em [21] foi realizado a partir de dados extraídos de imagens, capturadas *in loco* por meio de câmera fotográfica, de maneira vertical (ver Fig. 1), da cobertura do dossel no fragmento florestal em estudo, ao longo de sete transectos identificados, respectivamente, como T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7, distribuídos no fragmento. O objetivo do trabalho foi descobrir, dentre um conjunto de técnicas consideradas, a que permitisse uma diferenciação mais precisa entre céu e dossel, nas imagens capturadas *in loco* da cobertura do dossel.

As imagens fotográficas da cobertura do dossel foram capturadas ao longo dos sete transectos, com um espaço de 10 metros entre cada captura. O procedimento adotado seguiu aquele descrito em [16]. A captura das imagens foi realizada pela manhã, com a câmera posicionada verticalmente a uma altura do solo de 1,5 metros (um tripé foi usado para estabilizar e elevar a câmera). Um total de 75 imagens da cobertura do dossel foi capturado: 11 no transecto T1, 11 no transecto T2, 7 no transecto T3, 16 no transecto T4, 12 no transecto T5, 11 no transecto T6 e 7 no transecto T7.

As imagens foram capturadas com uma câmera Nikon D7000, lente AF-S DX NIKKOR 18-105 mm f/ 3.5-5.6G ED

VR-A e a plataforma de software MATLAB foi usada para processar as imagens obtidas. Cada uma das 75 imagens foi dividida em nove partes iguais, todas com as mesmas dimensões (1.643×1.089 pixels), com o objetivo de reduzir o número de pixels mistos devido à alta resolução [49][50], bem como de mitigar os efeitos da distorção na escala [19][49].

Em seguida, foi realizado o processo de segmentação de cada uma das 75 imagens. Para o processo de segmentação, o algoritmo Jseg [51] foi escolhido devido ao seu melhor desempenho, quando comparado com os três algoritmos, Limiarização, *Watershed Transform* com *Distance Transform* e *Watershed Gradients*, na distinção entre céu e dossel, em imagens da cobertura do dossel. Para calcular a porcentagem da cobertura do dossel em cada transecto (AVG_{IL}), foram utilizadas as áreas escuras (pixels representando qualquer parte da vegetação, como folhas, galhos, caules, entre outras).

C. Informações sobre a Imagem de Satélite HRC CBERS-2B

A imagem de satélite disponibilizada e utilizada refere-se à HRC baixada do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o seu registro aplicou-se a imagem *Thematic Mapper* (TM), do satélite Landsat-5, de 27 de setembro de 1988, baixada do site da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), empregando o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), com projeção Universal Transversa Mercator (UTM), e o Sistema de Referência Geocêntrica DATUM para as Américas (SIRGAS2000), considerando erro menor que 0,5 pixel.

D. Descrição da Metodologia Utilizada

Após o registro da imagem HRC, foram extraídas dela sete subimagens, cada uma delas referente a um particular transecto. Com esse propósito, foram verificadas as coordenadas geográficas dos respectivos transectos, por meio de um receptor Garmin eTrex Vista HCX.

Para cada uma das sete subimagens HRC, foram extraídos os valores dos descritores: energia (ENE) (1), entropia (ENT) (2), homogeneidade (HOM) (3), contraste (CON) (4) e a soma das altas frequências da Transformada Discreta de Fourier (TDF). Como a TDF é bem conhecida, detalhes sobre tal descritor podem ser encontrados em [31].

Esses descritores, entre outros, são amplamente utilizados na literatura para subsidiar análises de características estruturais de florestas, a partir de imagens e as expressões matemáticas que os descrevem são apresentadas a seguir, em que L representa o tamanho da imagem (em número de pixels) e $p(i,j)$ representa um pixel, em que i e j são suas respectivas coordenadas.

O descritor energia (ENE) (1) representa a uniformidade da imagem. Quanto maior for o número de pares de pixels que têm valores próximos, maior o valor de energia.

$$ENE = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j)^2 \quad (1)$$

O descritor entropia (ENT) (2) representa uma medida de ‘desorganização’ dos valores dos pixels em uma imagem. Quando pixels adjacentes têm valores associados que diferem substancialmente, a entropia da imagem se torna alta.

$$ENT = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \log p(i,j)p(i,j) \quad (2)$$

O descritor homogeneidade (HOM) (3) estima a homogeneidade associada aos valores dos pixels em uma imagem. Quando os valores associados a pixels adjacentes têm pequenas variações, o impacto no valor da homogeneidade será menor do que quando têm grandes variações.

$$HOM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{p(i,j)}{1+(i-j)^2} \quad (3)$$

O descritor contraste (CON) (4) mede a variação dos níveis de cinza entre dois pixels adjacentes. Altas variações desses níveis elevam o valor do descritor.

$$CON = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j)(i-j)^2 \quad (4)$$

Em processamento digital de imagens, a TDF é utilizada para filtragem no domínio da frequência. Em relação aos seus componentes, o coeficiente em torno da origem representa uma imagem de intensidade média, os coeficientes de baixas frequências representam componentes de imagem que variam pouco e os de altas frequências (e.g., descontinuidades da cobertura do dossel) são associados às variações bruscas de intensidade. Tais características tornam a TDF uma ferramenta eficiente para ser empregada na resolução de problemas nas mais diversas áreas e, particularmente, na área de interesse desse trabalho.

A Fig. 3 apresenta um diagrama sintetizado da metodologia utilizada nos experimentos. Note que a figura contempla, na coluna Entrada, parte superior, imagens capturadas *in loco* do fragmento de floresta (relacionadas ao experimento prévio descrito em [21] e resumido na Subseção B) e, na parte inferior, a imagem HRC do mesmo fragmento. A metodologia adotada neste trabalho está resumida no diagrama da parte inferior da figura, que envolve a aquisição das coordenadas dos sete transectos, seguida pela extração das subimagens dos transectos e, então, cálculo dos valores associados a cada um dos descritores utilizados.

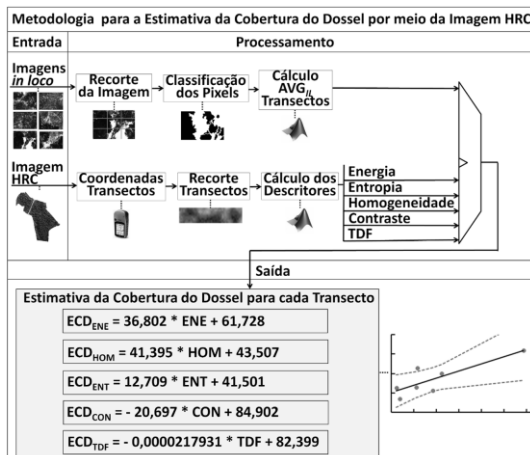


Fig. 3. Fluxograma sintetizado da metodologia empregada nos experimentos conduzidos.

É importante notar que os valores AVG obtidos *in loco* (AVG_{IL}), relacionados aos sete transectos, foram utilizados

para determinação dos coeficientes angular e linear das cinco equações de regressão utilizadas para a estimação do valor de porcentagem da cobertura do dossel (ECD_X), como mostra a coluna Saída da Fig. 3, em que X é um dos cinco descritores utilizados.

No contexto deste trabalho a variável dependente considerada foi a porcentagem estimada de cobertura do dossel (ECD), representada por ECD_{ENE} , ECD_{ENT} , ECD_{HOM} , ECD_{CON} e ECD_{TDF} , considerando como variável independente cada um dos descritores i.e., ENE , ENT , HOM , CON e TDF , respectivamente, com seus valores extraídos da imagem HRC.

Para a determinação dos cinco valores de $ECDs$ foram considerados: (1) o tamanho da amostra (no caso $n = 7$), (2) o desvio-padrão populacional desconhecido, (3) a análise de distribuição normal por meio dos percentis da amostra, (4) a distribuição t-Student para o valor de $t_{\alpha/2}$ e nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$) para o intervalo de confiança, e hipótese nula (H_0 : não há associação entre as variáveis).

Além disso, foram mensurados (5) o coeficiente de correlação de Pearson (r), que determina o quanto a porcentagem média da cobertura do dossel se correlaciona a cada um dos descritores, (6) o coeficiente de significância (p), que é a probabilidade máxima de cometer o erro tipo I (rejeitar a hipótese nula verdadeira), (7) o coeficiente de determinação (R^2) que infere sobre a qualidade do ajuste dos dados ao modelo matemático, ou seja, a capacidade da equação de regressão linear, proposta para cada descritor, explicar a variação da cobertura do dossel e (8) o erro padrão (S), a fim de analisar a diferença entre os valores estimados e os valores observados *in loco* para a cobertura do dossel (AVG_{IL}).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I apresenta a porcentagem média de cobertura do dossel obtida *in loco* (AVG_{IL}), para cada transecto, bem como os valores dos cinco descritores mensurados em cada um dos transectos, utilizando as subimagens HRC.

TABELA I
 AVG_{IL} (% MÉDIA DE COBERTURA DO DOSSSEL [21] OBTIDA *IN LOCO*) E VALORES ASSOCIADOS AOS CINCO DESCRITORES, POR TRANSECTO

	$IN LOCO$ AVG_{IL}	ENE	ENT	$IMAGEM HRC$		
				HOM	CON	TDF
T1	91,81	0,8163	3,5117	0,9500	0,1000	$4,35 \times 10^4$
T2	67,00	0,2672	2,6265	0,7029	0,5941	$2,63 \times 10^5$
T3	80,00	0,4539	3,0387	0,8143	0,3714	$8,17 \times 10^4$
T4	82,91	0,3448	2,8974	0,7353	0,5294	$3,83 \times 10^5$
T5	71,18	0,4136	1,9950	0,9369	0,1262	$5,06 \times 10^5$
T6	72,63	0,2516	2,3758	0,7415	0,5171	$3,95 \times 10^5$
T7	72,85	0,3406	3,0590	0,7679	0,4643	$9,13 \times 10^4$

Com base nos valores apresentados na Tabela I, foi possível estimar a cobertura do dossel em cada um dos sete transectos, por meio de equações de regressão linear. A Fig. 4 exibe as plotagens das cinco equações de regressão linear, considerando AVG_{IL} e cada uma das $ECDs$ referente a um dos cinco descritores, com seus respectivos intervalos de confiança e suas equações de estimação associadas. Em cada uma das subfiguras da Fig. 4 ambos, AVG_{IL} e ECD_X , são valores de porcentagem média da cobertura do dossel (AVG) representados no eixo vertical.

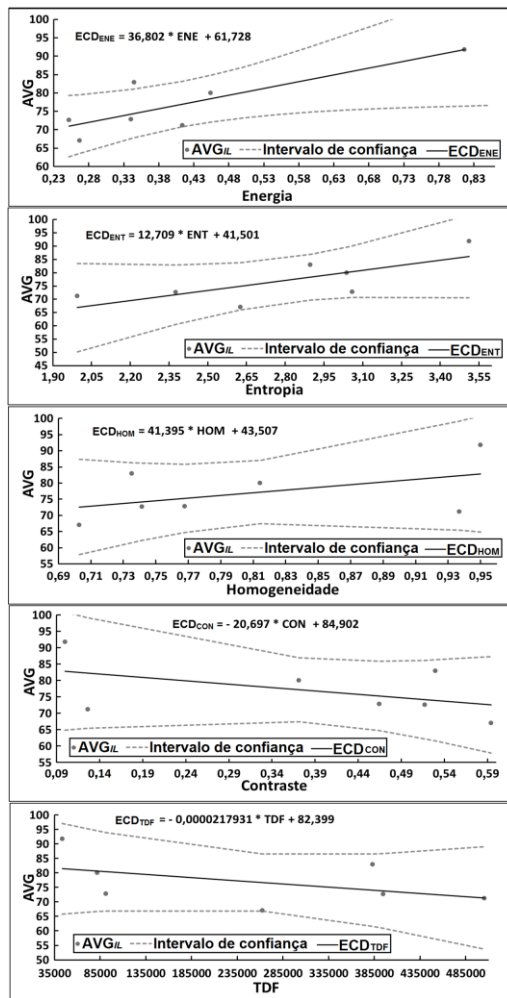


Fig. 4. Cinco plotagens de regressão linear considerando as médias de porcentagens de cobertura do dossel *in loco* (AVG_{IL}) para cada transecto e as estimativas de porcentagens de cobertura do dossel (ECD_x) para cada um dos cinco descritores, com seus respectivos intervalos de confiança e suas equações de estimação associados.

As Tabela II, Tabela III, Tabela IV, Tabela V e Tabela VI apresentam os resultados para cada uma das ECDs em todos os sete transectos, o intervalo de confiança e a margem de erro associada. É importante lembrar que os dados mostrados em cada uma das tabelas referem-se ao uso de um determinado descritor como variável independente.

Na análise que segue e considerando todas as tabelas (II-VI) são inicialmente considerados os resultados com base apenas nos valores de AVG_{IL} e ECD_x. Na análise, para as considerações feitas com o objetivo de evidenciar as melhores aproximações relativas aos transectos, são considerados os valores dos demais descritores nos transectos foco das análises.

Considerando ENE como o descritor utilizado (variável independente) e a ECD_{ENE} como variável dependente, as porcentagens em destaque, mostradas na Tabela II, indicam que, para os transectos T1, T2 e T7, a estimativa ECD_{ENE} foi a que mais se aproximou do valor AVG_{IL}, levando em consideração as demais ECDs obtidas utilizando cada um dos quatro descritores restantes. Nas tabelas II-VI AVG_{IL} representa a porcentagem média de cobertura do dossel obtida *in loco* [21].

TABELA II

AVG_{IL}, ECD_{ENE} (ESTIMATIVA (%)) DA COBERTURA DO DOSSEL USANDO ENE, COM IC (%) (INTERVALO DE CONFIANÇA) E ε (%) MARGEM DE ERRO ASSOCIADOS, POR TRANSECTO DA IMAGEM HRC

	AVG _{IL} (%)	ECD _{ENE} (%)	IC (%)	□□□□□
T1	91,81	91,76	(76,45 – 107,08)	15,32
T2	67,00	71,56	(63,58 – 79,53)	7,97
T3	80,00	78,43	(72,09 – 84,77)	6,34
T4	82,91	74,41	(67,80 – 81,02)	6,61
T5	71,18	76,94	(70,77 – 83,12)	6,17
T6	72,63	70,98	(62,65 – 79,31)	8,33
T7	72,85	74,26	(67,60 – 80,92)	6,66

Na Tabela III, relativa ao descritor ENT, o valor estimado mais próximo ao valor AVG_{IL} foi obtido em T3, T4 e T6, levando em consideração os valores obtidos nas demais ECDs.

TABELA III

AVG_{IL}, ECD_{ENT} (ESTIMATIVA (%)) DA COBERTURA DO DOSSEL USANDO ENT, COM IC (%) (INTERVALO DE CONFIANÇA) E ε (%) MARGEM DE ERRO ASSOCIADOS, POR TRANSECTO DA IMAGEM HRC

	AVG _{IL} (%)	ECD _{ENT} (%)	IC (%)	□□□□□
T1	91,81	86,13	(70,56 – 101,70)	15,57
T2	67,00	74,88	(66,02 – 83,73)	8,85
T3	80,00	80,11	(70,58 – 89,65)	9,53
T4	82,91	78,32	(69,71 – 86,93)	8,61
T5	71,18	66,85	(50,26 – 83,44)	16,59
T6	72,63	71,69	(60,50 – 82,88)	11,19
T7	72,85	80,37	(70,66 – 90,09)	9,72

Como pode ser confirmado nos dados mostrados na Tabela IV, o descritor HOM não se mostrou eficiente com relação à estimativa da cobertura do dossel. Nas outras tabelas podem ser encontrados descritores que obtiveram melhores estimativas em cada um dos transectos, do que aquelas obtidas com o uso de HOM. De maneira similar ao desempenho do descritor HOM, o descritor CON também não se mostrou eficiente com relação à estimativa da cobertura do dossel, como pode ser evidenciado nos dados apresentados na Tabela V. Já na Tabela VI, o descritor TDF foi o que se mostrou o mais ajustado à estimação do transecto T5.

TABELA IV

AVG_{IL}, ECD_{HOM} (ESTIMATIVA (%)) DA COBERTURA DO DOSSEL USANDO HOM, COM IC (%) (INTERVALO DE CONFIANÇA) E ε (%) MARGEM DE ERRO ASSOCIADOS, POR TRANSECTO DA IMAGEM HRC

	AVG _{IL} (%)	ECD _{HOM} (%)	IC (%)	□□□□□
T1	91,81	82,83	(64,81 – 100,85)	14,72
T2	67,00	72,60	(57,88 – 87,31)	12,35
T3	80,00	77,21	(67,44 – 86,98)	11,96
T4	82,91	73,94	(61,59 – 86,29)	10,59
T5	71,18	82,29	(65,42 – 99,15)	9,77
T6	72,63	74,20	(62,24 – 86,16)	16,87
T7	72,85	75,29	(64,70 – 85,88)	18,02

TABELA V

AVG_{IL}, ECD_{CON} (ESTIMATIVA (%)) DA COBERTURA DO DOSSEL USANDO CON, COM IC (%) (INTERVALO DE CONFIANÇA) E ε (%) MARGEM DE ERRO ASSOCIADOS, POR TRANSECTO DA IMAGEM HRC

	AVG _{IL} (%)	ECD _{CON} (%)	IC (%)	□□□□□
T1	91,81	82,83	(64,81 – 100,85)	18,02
T2	67,00	72,60	(57,89 – 87,31)	14,71
T3	80,00	77,21	(67,44 – 86,98)	9,77
T4	82,91	73,94	(61,59 – 86,29)	12,35
T5	71,18	82,29	(65,42 – 99,15)	16,87
T6	72,63	73,94	(62,23 – 86,16)	11,96
T7	72,85	75,29	(64,70 – 85,88)	10,59

TABELA VI

AVG_{IL}, ECD_{TDF} (ESTIMATIVA (%)) DA COBERTURA DO DOSSEL USANDO TDF), COM IC (%) (INTERVALO DE CONFIANÇA) E ϵ (%) MARGEM DE ERRO ASSOCIADOS, POR TRANSECTO DA IMAGEM HRC

	AVG _{IL} (%)	ECD _{TDF} (%)	IC (%)	ϵ (%)
T1	91,81	81,44	(65,84 – 97,05)	15,60
T2	67,00	76,67	(66,81 – 86,52)	9,85
T3	80,00	80,61	(66,66 – 94,56)	13,95
T4	82,91	74,05	(61,60 – 86,50)	12,44
T5	71,18	71,38	(53,64 – 89,11)	17,73
T6	72,63	73,79	(60,92 – 86,67)	12,87
T7	72,85	80,40	(66,85 – 93,96)	13,55

Em uma análise relativamente superficial, os valores obtidos indicam que os descritores energia e entropia colaboraram de maneira mais eficiente que os demais, para a estimativa da porcentagem de cobertura do dossel em análise. Um resumo do desempenho dos cinco descritores considerados para a estimativa da cobertura do dossel que, de certa forma condensa os resultados apresentados nas tabelas II-VI, está mostrado na Tabela VII, que indica, para cada um dos transectos, qual o descritor que promoveu a melhor estimativa da cobertura, ou seja, o descritor X que melhor aproximou ECD_X de AVG_{IL}.

TABELA VII

DESCRIPTORES COM O MELHOR DESEMPENHO O NO CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE COBERTURA DO DOSSEL POR TRANSECTO

Transectos	Descritor com melhor desempenho
T1	ENE
T2	ENE
T3	ENT
T4	ENT
T5	TDF
T6	ENT
T7	ENE

Abordando os resultados apresentados nas tabelas anteriores (II-VI), com foco na margem de erro associada ao intervalo de confiança dos valores estimados, pode ser observado que a média das margens de erro associadas ao descritor ENE é menor do que a média daquelas associadas aos outros descritores, como mostra a Tabela VIII.

TABELA VIII

MÉDIA DA MARGEM DE ERRO POR DESCRIÇÃO

Descritor	Média da margem de erro (ϵ (%)) considerando todos os transectos
ENE	8,20
ENT	11,43
HOM	13,46
CON	13,46
TDF	13,71

O melhor desempenho alcançado pelo descritor ENE pode ser ratificado pelos valores dos coeficientes de correlação (r), de significância (p), de determinação (R^2) e erro padrão (S) obtidos. Com base nesses resultados, pode ser afirmado que a energia apresentou correlação mais forte, associação estatisticamente significativa (hipótese nula rejeitada), melhor ajuste e menor erro padrão, como mostra a Tabela IX.

Com relação a r e R^2 , os descritores HOM, CON e TDF tiveram valores baixos e, com relação ao erro padrão (S),

obtiveram altos valores, em comparação com os outros dois descritores. É importante lembrar que os valores dessas estatísticas associadas aos descritores CON e HOM são iguais em valor absoluto, uma vez que um deles é o inverso do outro.

TABELA IX

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R), COEFICIENTE DE SIGNIFICÂNCIA (P) COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E ERRO PADRÃO (S) DE CADA DESCRIÇÃO

Descritores	Estatísticas da Regressão			
	r	p	R^2	S
ENE	0,8320	0,0202	0,6923	5,1647
ENT	0,7468	0,0537	0,5577	6,1911
HOM	0,4836	0,2714	0,2339	8,1487
CON	-0,4836	0,2714	0,2339	8,1487
TDF	-0,4684	0,2890	0,2194	8,2257

Considerando o valor de p associado à HOM, CON e TDF, pode ser afirmado que a hipótese nula foi aceita, ou seja, não existe associação significativa entre a variável dependente e as variáveis independentes, exceto quando a variável independente é a ENE.

IV. CONCLUSÕES

O trabalho descrito neste artigo contribui para fortalecer a aplicação de técnicas de processamento de imagens, com o objetivo de promover sistemas computacionais que permitam o monitoramento da estrutura da floresta, particularmente no que diz respeito à sua cobertura e estado de conservação.

A metodologia de desenvolvimento da pesquisa considerou o uso de regressão linear, o que possibilitou evidenciar o desempenho individual de cada descritor na estimação da cobertura do dossel. Para tal, informações relativas à estimativa *in loco* da cobertura do dossel foram utilizadas.

Os resultados dos experimentos apresentados e discutidos na Seção III evidenciam que os descritores energia (ENE) e entropia (ENT) foram relevantes quando das respectivas participações (como variáveis independentes), nas equações de regressão associadas. Suas relevâncias são consequências, particularmente, do bom ajuste produzido (R^2), de apresentarem os menores erros padrão (S) e da forte correlação (r) com a estimativa calculada i.e., ECD_{ENE} e ECD_{ENT}. O descritor ENE, entretanto, obteve significância estatística (p), enquanto que o descritor ENT não.

Cabe destacar que, considerando as margens de erro aferidas, ENE forneceu a melhor estimativa da cobertura do dossel, obtendo a menor média dos valores associados às margens de erro por descritor (Tabela VIII). Quanto aos demais descritores i.e., HOM, COM e TDF, os resultados apresentados nas tabelas anteriores são evidência que os três se mostraram irrelevantes para a avaliação da cobertura do dossel.

Por fim, os resultados do trabalho comprovam a efetividade do uso do descritor energia, com nível de significância de 95%, para uma boa estimativa da porcentagem da cobertura do dossel. O trabalho realizado pode ser replicado, com o mesmo propósito, para grandes áreas de florestas semidecíduas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Dr. João Juarez Soares, em

memória, pela orientação, amizade e companheirismo que contribuíram para a realização desta pesquisa. Os quatro autores agradecem os comentários e sugestões dos revisores.

REFERÊNCIAS

- [1] L. P. C. Morelato and C. F. B. Haddad, "Introduction: the Brazilian Atlantic forest," *Biotropica*, vol. 32, pp. 786-792, 2000.
- [2] M. C. Ribeiro, J. P. Metzger, A. C. Martensen, F. J. Ponzoni, and M. M. Hirota, "The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation," *Biological Conservation*, vol. 142, pp. 1141-1153, 2009.
- [3] Ministério do Meio Ambiente – MMA, "Mata Atlântica manual de adequação ambiental," *Biodiversidade* 35, Brasília, 2010.
- [4] C. Galindo-Leal and I. G. Câmara, "Mata Atlântica: biodiversidade ameaças e perspectivas," São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, Conservação Internacional, 2005.
- [5] P. Ranta, T. Blom, J. Niemälä, R. Joensuu, and M. Siltoen, "The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragment," *Biodiversity and Conservation*, vol. 7, pp. 385-403, 1998.
- [6] Sos Mata Atlântica, Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. "Atlas dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica," São Paulo, Available: <http://www.sosmataatlantica.org.br>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [7] Instituto De Estudos Socioambientais Do Sul Da Bahia (IESB). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGEO/UFRJ), Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF), 2007, "Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica," Relatório final. PROBIO 03/2004, Brasília.
- [8] SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais, "Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período de 2000–2005," Available: <http://www.sosmataatlantica.org.br>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [9] M. L. Smith, J. Anderson, and M. Fladeland, "Forest canopy structural properties," in *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*. New York: Springer Science and Business Media, 2008.
- [10] B. Barnes, D. Zak, S. Denton, and S. Spurr, *Forest Ecology*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Inc, 1998, pp. 774.
- [11] U. H. Finol, "Nuevos parametros a considerarse em el analisis estructural de las selva virgenes tropicales," *Revista Forestal Venezolana*, vol. 14, pp. 29-42, 1971.
- [12] S. J. Longhi, M. M. Araujo, M. B. Kelling, J. M. Hoppe, I. Muller, and G. A. Borsoi, "Aspectos fitossociológicos de fragmento de floresta estacional decidual, Santa Maria, RS," *Ciência Florestal*, vol. 10, pp. 59-74, 2000.
- [13] L. A. Silva and J. J. Soares, "Análise sobre o estado sucessional de um fragmento florestal e sobre suas populações," *Revista Árvore*, vol. 26, pp. 229-236, 2002a.
- [14] L. A. Silva and J. J. Soares, "Levantamento fitossociológico em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, no município de São Carlos, SP," *Acta Botanica Brasilica*, vol. 16, pp. 205-216, 2002b.
- [15] K. dos Santos, L. S. Kinoshita, and F. A. M. Santos, "Tree species composition and similarity in semideciduous forest fragments of southeastern Brazil," *Biological Conservation*, vol. 135, pp. 268-277, 2007.
- [16] S. B. Jennings, N. B. Brown, and D. Sheil, "Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures," *Forestry*, vol. 1, pp. 59-73, 1999.
- [17] L. Korhonen, K. T. Korhonen, M. Rautiainen, and P. Stenberg, "Estimation of forest canopy cover: a comparison of field measurement techniques," *Silva Fennica*, vol. 40, pp. 577-588, 2006.
- [18] A. Paletto and V. Tosi, "Forest canopy cover and canopy closure: comparison of assessment techniques," *European Journal of Forest Research*, vol. 128, pp. 265-272, 2009.
- [19] A. E. Goodenough and A. S. Goodenough, "Development of a rapid and precise method of digital image analysis to quantify canopy density and structural complexity," *Ecology*, 2012.
- [20] J. A. A. Meira-Neto, F. R. Martins, and A. L. Souza, "Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG, Brasil," *Acta Botanica Brasilica*, vol. 19, pp. 473-486, 2005.
- [21] T. Yamada, E. C. Pedrino, J. J. Soares, and M. C. Nicoletti, "Assessing the canopy integrity using canopy digital images in semideciduous forest fragment in São Carlos - SP - Brazil," *Revista Árvore*, vol. 41, pp. 1-97, 2017.
- [22] A. R. T. Nascimento, J. M. F. Fagg, and C. W. Fagg, "Canopy openness and lai estimates in two seasonally deciduous forests on limestone outcrops in Central Brazil using hemispherical photographs," *Revista Árvore*, vol. 31, pp. 167-176, 2007.
- [23] D. L. M. Vieira and A. Scariot, "Abertura de dossel: indicador do estado de conservação de fragmentos de florestas decíduas do vale do Paranã-GO," in *Encontro do Talento Estudantil da EMBRAPA recursos genéticos e biotecnologia*, Brasília, 2001.
- [24] S. G. Leblanc and R. A. Fournier, "Measurement of Forest Structure with Hemispherical Photography", in *Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications*, Netherlands: Dordrecht, pp. 53-84, 2017.
- [25] M. S. Sukanuma, J. M. D. Torezan, A. L. Cavalheiro, A. L. L. Vanzela, and T. Benato, "Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e de uma floresta madura," *Revista Árvore*, vol. 32, pp. 377-385, 2008.
- [26] A. Castillo, J. Vázquez, J. Ortegón, R. Carrasco, and J. Avilés, "Intelligent classification of large-scale remotely sensed hyperspectral images using multi-gpu computing," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 18, pp. 113-119, 2020.
- [27] T. B. Almeida, E. C. Pedrino, and M. M. Fernandes, "Complex morphological filtering for Serial, Parallel, GPU, SoC, Petalinux and FPGA execution," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 100, pp. 3139-3147, 2020.
- [28] D. Ferreira, "ACPT Exploiting feature extraction techniques for remote sensing image classification," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, pp. 2657-2664, 2018.
- [29] E. Muñoz, A. Zozoya, and E. Lindquist, "Satellite remote sensing of forest degradation using NDFI and the BFAST algorithm," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 18, pp. 1288-129, 2020.
- [30] A. Berveblieri, A. M. G. Tommaselli, N. N. Imai, E. A. W. Ribeiro, R. B. Guimarães and E. Honkavaara. "Identification of successional stages and cover changes of tropical forest based on digital surface model analysis," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, pp. 5385-5397, 2016.
- [31] P. Couteron, R. Pelissier, E. A. Nicolini, and D. Paget, "Predicting tropical forest stand structure parameters from Fourier transform of very high-resolution remotely sensed canopy images," *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, pp. 1121-1128, 2005.
- [32] V. Trichon, A. Lafitte-Olano, S. Gatelier, P. Couteron, and L. Blanc, "Investigating the relationships between canopy texture and the structure and dynamics of a tropical rain forest - A high resolution remote sensing approach with aerial photographs and IKONOS data," *The 4th International Canopy Conference*, Germany: Leipzig, 2005.
- [33] A. C. Ximenes, and S. Amaral, "Predição de parâmetros estruturais de florestas tropicais a partir das técnicas de transformada de Fourier e delimitação manual de dossel aplicada em imagens de alta resolução espacial", *Revista Caminhos de Geografia*, vol. 11, pp. 202-207, 2010.
- [34] P. G. C. Sette and P. Maillard, "Análise de textura de imagem de alta resolução para aprimorar a acurácia da classificação da Mata Atlântica no sul da Bahia," in *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba*, 2011.
- [35] L. Korhonen, D. Ali-Sisto, and T. Tokola, "Tropical forest canopy cover estimation using satellite imagery and airborne lidar reference data," *Silva Fennica*, vol. 49, pp.1-18, 2015.
- [36] E. R. Pinagé, E. A. T. Matricardi, F. A. Leal, and M. A. Pedlowski, "Estimates of selective logging impacts in tropical forest canopy cover using RapidEye imagery and field data," *iForest*, vol. 9, pp. 461-468, 2016.
- [37] G. P. Asner, M. Palace, M. Keller, R. Pereira, J. N. M. Silva, and J. C. Zweede, "Estimating canopy structure in a Amazon forest from laser range finder and IKONOS satellite observations," *Biotropica*, vol. 34, pp. 483-492, 2002.
- [38] J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Dering, "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," in *Proceedings of The Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, NASA: Washington, pp. 309-317, 1973.
- [39] A. R. Huete, "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, pp. 295-309, 1988.
- [40] M. Wulder, "Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters," *Progress in Physical Geography*, vol. 22, pp. 449-476, 1998.

- [41] F. Kayitakite, C. Hamel, and P. Defourny, "Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 102, pp. 390-401, 2006.
- [42] K. Johansen and S. Phinn, "Mapping structural parameters and species composition of riparian using IKONOS and Landsat ETM+ data in Australian tropical savannahs," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 72, pp. 71-80, 2006.
- [43] J. Meng, S. Li, W. Wang, Q. Liu, S. Xie, and W. Ma, "Estimation of forest structural diversity using the spectral and textural information derived from SPOT-5 satellite images," *Remote Sensing*, vol. 8, pp. 1-24, 2016.
- [44] D. Stojanova, P. Panov, V. Gjorgjioski, A. Kobler, and S. Dzeroski, "Estimating vegetation height and canopy cover from remotely sensed data with machine learning," *Ecological Informatics*, vol. 5, pp. 256-266, 2010.
- [45] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, "Textural features for image classification," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-3, pp. 610-621, 1973.
- [46] T. M. O. Santiago, J. L. P. Rezende, and L. A. C. Borges, "The legal reserve: historical basis for the understanding and analysis of this instrument," *Ciência Rural*, vol. 47, 2016.
- [47] R. C. Hora and J. J. Soares, "Estrutura fitossociológica da comunidade de lianas em uma floresta estacional semidecidual na Fazenda Canchim, São Carlos, SP," *Revista Brasileira de Botânica*, vol. 25, pp. 323-329, 2002.
- [48] O. Primavesi, A. C. P. A. Primavesi, A. F. Pedrosa, A. C. Camargo, J. B. Rassini, J. R. Filho, G. P. Oliveira, L. A. Correa, M. J. A. Armelin, S. R. Vieira, and S. C. F. Dechen, "Microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim: um modelo real de laboratório ambiental," *Boletim de Pesquisa*, EMBRAPA, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999.
- [49] C. Macfarlane, "Classification method of mixed pixels does not affect canopy metrics from digital images of forest overstorey," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 151, pp. 833-840, 2011.
- [50] G. Z. M. Song, D. Doley, D. Yates, K. J. Chao, and C. F. Hsieh, "Improving accuracy of canopy hemispherical photography by a constant threshold valued derived from an unobscured overcast sky," *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 44, pp. 17-27, 2014.
- [51] Y. Deng and B. S. Manjunath, "Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, pp. 800-810, 2001.



Thiago Yamada possui graduação em Ciências Biológicas, Bacharelado e Licenciatura pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003), Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos (2007), Especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal de São Carlos (2008) e

Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (2014). Tem interesse em pesquisa e possui experiência em geoprocessamento, processamento digital de imagens, ecologia de comunidades vegetais, entre outras.



Emerson Carlos Pedrino possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (Primeiro lugar entre os formandos, tendo recebido os prêmios CREA e Instituto de Engenharia) e em Bacharelado em Física Computacional, também pela Universidade de São Paulo - EESC (2016) e IFSC (2000), Mestrado

em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo - EESC (2003) e Doutorado em Engenharia Elétrica pela

Universidade de São Paulo - EESC (2008). Também, fez Pós-doutorado em Engenharia Eletrônica no Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade de York, Inglaterra. Além disso, possui Especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal de São Carlos (2003). Tem experiência nas áreas de Ciência da Computação, Engenharia Elétrica e Geoprocessamento, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de arquiteturas rápidas e inteligentes para processamento de imagens e vídeo em tempo real utilizando FPGAs, programação genética, morfologia matemática, sensoriamento remoto, visão robótica, aprendizado de máquina e arquiteturas de muitos núcleos.



Maria do Carmo Nicoletti possui graduação em Matemática pela UNESP (1973), com mestrado em Ciência da Computação pelo Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - Universidade de São Paulo (1977), mestrado em Computer Science pela University of Oxford (1980), doutorado em Física Computacional pelo Instituto

de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo (1994) e pós-doutorado em Inteligência Artificial, junto à University of New South Wales, Austrália (1998-2000). Tem interesse em pesquisa na área de Inteligência Artificial, com ênfase nas subáreas de métodos e técnicas de aprendizado de máquina e representação de conhecimento.



Luiz Eduardo Moschini possui graduação em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário de Araraquara (2003), mestrado em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (2005) e doutorado em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (2008). Atualmente é professor Associado

da Universidade Federal de São Carlos. Tem experiência na área de Ecologia e Ciências Ambientais, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento ambiental, ecologia da paisagem, sistemas de informações geográficas (SIGs), conservação da biodiversidade e gestão ambiental. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (Mestrado e Doutorado) e do Programa de Pós-Graduação em Conservação da Fauna (Mestrado Profissional).