



PATRÍCIA VIEIRA POMPEU

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DAS
FLORESTAS ATLÂNTICAS NEBULARES NA
SERRA DA MANTIQUEIRA**

LAVRAS - MG

2015

PATRÍCIA VIEIRA POMPEU

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS ATLÂNTICAS
NEBULARES NA SERRA DA MANTIQUEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor.

Orientador:

Dr. Marco Aurélio Leite Fontes

Coorientador:

Dr. Leendert Adriaan Bruijnzeel

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pompeu, Patrícia Vieira.

Modelagem da distribuição das florestas atlânticas nebulares na
Serra da Mantiqueira / Patrícia Vieira Pompeu. – Lavras : UFLA,
2015.

59 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Marco Aurélio Leite Fontes.

Bibliografia.

1. Modelagem de distribuição de espécies. 2. Florestas
nebulares brasileiras. 3. Classificação orientada a objetos. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

PATRÍCIA VIEIRA POMPEU

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS ATLÂNTICAS
NEBULARES NA SERRA DA MANTIQUEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2015.

Dr. Rubens Manoel dos Santos UFLA

Dra. Ana Carolina Maioli Campos Barbosa UFLA

Dra. Gislene Carvalho de Castro UFSJ

Dr. Warley Augusto Caldas Carvalho UFLA

Dr. Marco Aurélio Leite Fontes
(Orientador)

LAVRAS – MG

2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço, com todo o coração, a todas as pessoas que participaram desta etapa da minha vida e estiveram prontas a ajudar, ouvir e aconselhar.

Aos meus pais Elzina e Eduardo, pelo incentivo aos estudos, amor e carinho. Aos meus irmãos, Bruno e Eduardo, pela amizade e à minha família, por sempre torcer por mim. As minhas tias Tininha e Teresinha que cuidam de seus sobrinhos como se fossem filhos, com grande amor. As minhas queridas primas Flávia e Alice que compareceram à defesa e ao meu querido primo Ildeu, pelas oportunidades de realizações de trabalhos.

Ao meu orientador Marco, pela paciência, bons conselhos, companheirismo, o qual, além de tutor e fonte de inspiração, é um grande amigo.

Ao meu coorientador Sampurno, pela oportunidade de realizar o Doutorado sanduíche, que me engrandeceu muito como pessoa e profissional.

Aos professores Rubens, Warley, Carol e Gislene por aceitarem fazer parte de minha banca de dissertação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do doutorado.

A Natália e Marcelo que ajudaram na confecção de mapas.

Aos coautores do artigo: Inácio, Faustinho, Marinez, Luciana, Maarten e Mark, sem estes, este trabalho não seria possível.

A Luciana Kamino, pela oportunidade de realização da disciplina de modelagem de distribuição de espécies, que me deu embasamento para a realização deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação que colaboraram com os trabalhos em campo, em especial ao Gabriel, por sua companhia diária, fazendo o árduo

trabalho ser mais divertido.

Aos companheiros de república, Curuja e Túlio. E aos agregados, Flavinho, Ricardo, Danusa, Lala, Guilherme, Maraia, Norma, Mansa, Letícia por compartilharem as alegrias e angústias.

Aos companheiros de escalada, Somá, Lucão, Andrezinho, Gui, Germano, Aninha, Vinição, Rafaela e Tio Ed.

A Mariana, pelo companheirismo e puxões de orelha, que contribuíram com o meu amadurecimento. A Barbarazinha, por preencher meu coração de alegria com a doçura de me fazer lembrar como é ser criança.

RESUMO GERAL

Conduziu-se, este trabalho, com o objetivo de estimar a distribuição potencial das florestas nebulares atlânticas na Serra da Mantiqueira, sudeste do Brasil, por meio da modelagem da distribuição espacial dessas florestas, atingindo o mais próximo possível de sua distribuição real. A distribuição espacial preditiva das florestas nebulares foi estimada, pelo algoritmo Maxent. A modelagem foi realizada com um grupo de diferentes variáveis ambientais: variáveis bioclimáticas, variáveis topográficas e a variável nuvem. Após a potencial distribuição das florestas nebulares serem estimadas, foram aplicadas técnicas de sensoriamento remoto com o objetivo de aproximar a área real de floresta nebulares e remover partes erroneamente modeladas como nebulares. Foram mapeadas quatro classes de uso do solo: florestas nebulares, florestas plantadas, complexos rupestres de altitude e outros. O mapa final das áreas de florestas nebulares foi comparado com o mapa das unidades de conservação, objetivando-se analisar a porcentagem de proteção dessas áreas. Os resultados indicaram uma excelente predição da distribuição das florestas nebulares, em concordância com os dados bioclimáticos. Embora os ambientes sejam adequados para a presença de florestas nebulares pelo método da modelagem preditiva, a ocorrência real dessas florestas é diferente disso, de acordo com o mapeamento de uso do solo, sendo sua extensão a metade da área modelada. A maioria das unidades de conservação com presença de florestas nebulares está protegida pela categoria de uso sustentável. Tendo em vista a alta taxa de desflorestamento da Mata Atlântica, em poucos anos as florestas nebulares podem desaparecer, pela combinação de ações destrutivas humanas e mudanças climáticas. Os resultados obtidos reforçam a necessidade de se priorizar a conservação da Serra da Mantiqueira, criando-se novas áreas protegidas na categoria de proteção integral.

Palavras-chave: Modelagem de distribuição de espécies. Florestas nebulares brasileiras. Classificação orientada a objetos.

GENERAL ABSTRACT

We aimed estimate the potential distribution of Atlantic cloud forests in the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil, by modelling the spatial distribution of cloud forests getting this closer as possible to the actual area. The predictive spatial distribution of cloud forests in the Serra da Mantiqueira was estimated using the Maxent algorithm. The distribution modelling was performed with a set of different environmental variables: standard bioclimatic variables, topographic variables and a cloud variable. After we estimated the potential cloud forest distribution area we used remote sensing techniques aiming approximate the actual cloud forest area and remove mistakenly parts that were modeled as cloud forest. We mapped four land use classes: cloud forest, planted forest, high altitude complex and others. The final mapped cloud forest areas were compared with a map of existing protected areas aiming analysis the protection cover of those areas. The results indicated an excellent prediction of cloud forest distribution showing close agreement with the bioclimatic data. Although the environments are suitable for the cloud forest presence using the predictive modelling method, the actual occurrence differs from this according to the mapped land use, being cloud forest extent half of the predicted modeled area. Most areas belong to the Protected Area with Sustainable Use of Natural Resources category. Due the high rate forest loss present in the Atlantic forest the cloud forests may disappear in a few years by a combination of human disturbance and climate change. The presently obtained results reinforce the need to assign a high conservation priority to the Serra da Mantiqueira creating protected areas with full protection status.

Keywords: Species distribution modelling. Brazilian cloud forest. Object-oriented classification.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3 CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS	20
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	23
ARTIGO 1	24
1 INTRODUCTION	26
2 MATERIAL AND METHODS	29
2.1 Study area	29
2.2 Predictive cloud forest distribution modelling	32
2.3 Remote sensing techniques	34
3 RESULTS	36
3.1 Modelling cloud forest extent	36
3.2 Cloud forest protection status	39
4 DISCUSSION	43
5 REFERENCES	50

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Quando as florestas de altitude se encontram, em grande parte do ano, cobertas por nuvem (também chamado nevoeiro quando essa toca o solo), estas podem ser denominadas de florestas nebulares. Essas florestas são de extrema importância, visto que abrigam espécies endêmicas e apresentam elevada diversidade beta, causada pela heterogeneidade ambiental, em consequência do gradiente de altitude. Além de sua importância para a conservação de espécies, essas florestas têm um papel vital no abastecimento de água doce, por meio da condensação da água da nuvem pelo contato com a vegetação. Representam, assim, um aporte adicional de água nesses locais, somando-se àquelas advindas das chuvas e enriquecendo as nascentes. Nesse sentido, representam ecossistemas cada vez mais demandados em estudos científicos.

As florestas nebulares vêm sendo estudadas, cada vez mais, pelo setor de Ecologia do Departamento de Ciências Florestais (DCF), da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Historicamente, iniciativas com o intuito de expandir o conhecimento sobre a flora dos remanescentes florestais ainda existentes e suas interações com variáveis do ambiente físico, tanto no espaço como no tempo, vêm sendo desenvolvidos pela equipe do DCF há quase 30 anos. Tais iniciativas visam, em última instância, a subsidiar programas e políticas para a conservação e recuperação dos atuais e ameaçados fragmentos florestais. Estudos pioneiros foram iniciados no fim da década de 1980, quando, pesquisadores da UFLA, com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), realizaram os primeiros levantamentos descritivos. Na década seguinte, um convênio da UFLA com a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) possibilitou a intensificação dos trabalhos, apoiando estudos semelhantes em mais oito fragmentos da região. Além disso,

bolsas de iniciação científica e mestrado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e CNPq apoiaram levantamentos de mais três fragmentos. A partir de 1998, mais nove levantamentos foram realizados na região pelo subprojeto “Estratégias para conservação e manejo da biodiversidade em fragmentos de florestas semidecíduas”, executado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), UFLA e Universidade de Brasília (UnB), financiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio), gerido pelo CNPq. Com o encerramento deste, os estudos passaram a uma nova fase, com apoio do CNPq e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), compreendendo a execução de inventários contínuos em uma rede de parcelas permanentes em cerca de 60 fragmentos, com o propósito de avaliar a dinâmica das comunidades arbóreas. Por outro lado, buscaram-se intensificar as amostras nas maiores altitudes, pela importância científica das florestas nebulares e, também, por constituírem remanescentes mais conservados de Mata Atlântica, em razão da dificuldade de acesso aos mesmos.

Com o avanço dos estudos, ficou clara a necessidade de se aprofundar no funcionamento e função desses ecossistemas, por meio da pesquisa de variáveis hidrometeorológicas, partindo-se da premissa de que a presença frequente de nuvem e a alta umidade decorrente seriam os fatores chave que determinam a ocorrência dessas florestas. Assim, em 2010 aprovou-se o projeto “A captação de água de chuva oculta pelas florestas atlânticas altimontanas: um estudo da correlação entre vegetação, fatores meteorológicos e efeito nebuloso, ao longo de um gradiente de altitude na Serra da Mantiqueira”, financiado pela Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza. Constatou-se a importância das variáveis climáticas na determinação da floresta e sua heterogeneidade (e diversificação) interna, que não é suficientemente explicada pelos dados de solos, mesmo em escala espacial tão localizada. A variável mais fortemente

ligada à diversificação da vegetação foi a temperatura média, que diminui 1,2°C a cada acréscimo de duzentos metros na altitude, e reflete em respostas ecofisiológicas das árvores, levando a especialização dessas a seus habitats preferenciais. Cada variável ambiental contribui para a diversificação da vegetação, porém em sinergia, em um sistema complexo e difícil de ser desvendado. Constatou-se, também, a grande importância das florestas serranas na captação de chuva oculta e abastecimento do sistema hídrico montano, principalmente nas épocas secas de inverno. Esse aporte de água no Brasil ainda não é contabilizado nos estudos de balanço hídrico de microbacias, principalmente de alta montanha. Porém, contribuem para manter a perenidade dos recursos hídricos.

Neste projeto, realizou-se a dissertação de mestrado da autora desta Tese, intitulada “Composição e estrutura de uma floresta ombrófila densa ao longo de um gradiente altitudinal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais”. Constatou-se uma forte mudança na composição de espécies arbóreas, ao longo do gradiente de altitude amostrado, de 1500 a 2100 m, confirmando-se a hipótese inicial de existência de uma alta diversidade β local. Os resultados sugerem, quando comparados à literatura, que nas florestas montanas brasileiras há uma maior diversidade β nos gradientes altitudinais localizados nas maiores altitudes, ou seja, as variações ambientais condicionam mudanças na vegetação em espaços mais curtos nas maiores altitudes. Assim, a especialização das espécies a habitats preferenciais resulta em uma grande diversidade florestal. Os resultados mostraram, também, que quanto maiores as altitudes, mais os solos tornam-se arenosos, pobres, ácidos, tóxicos por alumínio, em ambientes mais úmidos, de ventos e radiação mais intensos, compondo áreas suscetíveis à erosão (se ausente a cobertura florestal) e de baixa aptidão agropecuária.

O projeto ainda incentivou a criação de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural no local, a RPPN Alto-Montana, colaborando em projetos

para a elaboração do plano de manejo de seus 672 hectares, assim como apresentou a área a outros pesquisadores (não somente da UFLA), dando início a uma série de outros trabalhos, como levantamento de mamíferos e aves, microbiologia dos solos, anatomia ecológica, ecofisiologia, dendrocronologia, entre outros. Como consequência, a partir de discussões com a administração da fazenda, surgiu a ideia da criação de um instituto de pesquisa de ecossistemas montanos, de caráter conservacionista. Criou-se, então, o Instituto Alto-Montana da Serra Fina, uma associação civil de direito privado, com fins não econômicos, com objetivos de incentivar pesquisas e ações em prol da conservação desses ecossistemas, ambicionando tornar-se um centro de referência no tema.

Aprofundando-se nas metodologias para estudo da captação de água do neveiro pela floresta, buscou-se a parceria com o grande cientista da hidrologia das florestas nebulares, o pesquisador L.A. Bruijnzeel, da Universidade Livre de Amsterdam (VU). Essa parceria culminou no Doutorado sanduíche da estudante autora desta Tese. Foram sete meses de estágio, em que foram realizadas as disciplinas que integram o curso de mestrado em hidrologia da universidade, de análises e respostas de bacias hidrográficas, e dois cursos de campo em instrumentação e análises hidrológicas, na Holanda e em Portugal. Destaca-se, aqui, o aprendizado das técnicas de quantificação de água captada por neveiro com o pesquisador. Simultaneamente, em 2012, aprovou-se o projeto “Estudo de impactos de mudanças climáticas nos recursos hídricos, por meio da análise da chuva oculta em florestas montanas: avaliação e monitoramento quali-quantitativo da relação entre vegetação, fatores climáticos e efeito nebuloso na Serra da Mantiqueira”, com o objetivo de continuar os estudos no gradiente altitudinal da vegetação na outra vertente da montanha, bem como as variáveis hidroclimatológicas, instalando-se um laboratório de hidrologia de montanha, quantificando e analisando as águas ali geradas. Aprovado junto ao Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas

do Estado de Minas Gerais (FHIDRO), o projeto tem previsão de início neste ano de 2015, com a liberação de verba por parte do financiador.

Se, por um lado, sentiu-se a necessidade em quantificar e analisar as águas geradas pelo sistema orográfico da Mantiqueira, constatou-se a grande importância em saber onde estão situadas suas florestas nebulares, visto serem ainda pouco conhecidas e com dados muito localizados e insuficientes. Assim, reconhecendo-se a importância em se modelar a extensão dessas florestas, objetivou-se, neste trabalho, estimar a área total de ocorrência das florestas nebulares na Serra da Mantiqueira, aproximando-se o mais próximo possível de sua extensão real, pela combinação entre modelagem preditiva de distribuição e técnicas de sensoriamento remoto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O valor das montanhas como fontes produtoras de água já era reconhecido antes da colonização europeia do Brasil, a Serra da Mantiqueira tem seu nome originado dos índios nativos do Brasil, na língua tupi-guarani, em que, Mantiqueira significa “gota de chuva” (NAVARRO, 2006). A Serra da Mantiqueira é parte integrante do domínio da Mata Atlântica, que integra várias formações florestais, compondo um dos ecossistemas mais biodiversos e ameaçados, com concentrações excepcionais de espécies endêmicas, restando pouco de sua cobertura original, fazendo dele um "hotspot" de biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2004, MYERS et al., 2000). A alta taxa de diversidade e endemismo encontrados nas florestas atlânticas é favorecida pela elevada heterogeneidade das condições ambientais explicadas por largas faixas altitudinais, latitudinais e longitudinais. Além disso, a Mata Atlântica é apontada como uma das áreas prioritárias para a conservação das florestas nebulares (BRUIJNZEEL et al., 2010).

As florestas nebulares incluem todas as florestas úmidas dos trópicos, que são frequentemente cobertas por nuvens ou nevoeiros, em decorrência da umidade recebida adicionalmente pelas chuvas, por meio da captura e/ou condensação de gotículas de água, a chamada precipitação horizontal (BRUIJNZEEL, 2001). Nessas condições de umidade, a quantidade de água diretamente interceptada pela vegetação das florestas nebulares pode ser de 15 a 20% da quantidade de chuva direta (BUBB et al., 2004).

O nevoeiro é o principal fator determinante da ocorrência de floresta nebulosa (BRUIJNZEEL et al., 2010). Sendo assim, as florestas nebulares são duplamente ameaçadas, pois, além das pressões antrópicas, comuns a outras florestas tropicais, as mudanças climáticas afetam a temperatura, as chuvas e a formação das nuvens nas áreas de montanha (BUBB et al., 2004). Em razão da estreita tolerância ambiental desses ecossistemas, as ações antrópicas que provocam as mudanças climáticas podem ser a principal ameaça em um futuro próximo para essas florestas (PONCE-REYES et al., 2012).

Uma das sugestões para o controle dos danos ocorridos a essas florestas é o inventário e mapeamento mundial delas, com o desenvolvimento de um banco de dados sobre as mesmas e seu monitoramento (HAMILTON, 2001). Scatena et al. (2010) citam que a inadequada informação de sua distribuição espacial, riqueza biológica e variação ecológica nas escalas locais, de montanhas, regionais e continentais, formam lacunas para o entendimento dessas florestas. Além disso, os esforços atuais de conservação raramente consideram a singularidade e descontinuidade desses ecossistemas semelhantes aos insulares, ao estabelecer as áreas protegidas, sendo de grande importância o estabelecimento de reservas a nível regional, provincial e local, levando em consideração o contexto de biogeografia de ilhas (VÁZQUEZ-GARCIA, 1995). Sendo assim, trabalhos em escala mais refinada acerca da distribuição dessas florestas são prioritários.

O primeiro grande trabalho, a respeito da biogeografia das florestas nebulares em um nível global, foi realizado a partir do Simpósio Internacional sobre as florestas nebulares, realizado em Porto Rico, em 1993 (HAMILTON et al., 1995). A partir desse Simpósio foi publicada a lista de 560 locais com presença de florestas nebulares montanas distribuídas pelos trópicos do mundo, UNEP- WCMC (ALDRICH et al., 1997). No Brasil, contudo, as áreas de ocorrência dessas florestas estão subestimadas. Observa-se nos dados compilados um conhecimento de apenas duas grandes regiões para essas florestas no país, a região dos Aparados da Serra, situada na região sul, e a Serra do Mar, ambos denominados como uma única região; e a as terras altas do maciço da Guiana, situadas na Amazônia, sendo que, nessas duas grandes regiões, foram indicados apenas 8 locais com ocorrência de florestas nebulares (ALDRICH et al., 1997). No entanto, essas florestas se estendem em toda a cadeia montanhosa da Serra, como no Parque Estadual da Serra do Papagaio, na RPPN Alto-Montana, no Parque Estadual da Serra do Ibitipoca, no Parque Municipal de Poços de Caldas, no Parque Estadual de Campos de Jordão, além do Parque Nacional do Itatiaia (PNI), apresentando uma grande extensão territorial com diferenças latitudinais que afetam as condições hidrometeorológicas e de diversidade biológica. Além disso, O PNI está inserido na Serra da Mantiqueira e não na Serra do Mar, como apontado por Aldrich et al., (1997). Sendo assim, as florestas nebulares do Brasil estão negligenciadas e erroneamente apresentadas internacionalmente.

Jarvis e Mulligan (2011) compararam as florestas nebulares com as demais florestas tropicais montanhosas e encontraram uma clara distinção de características climáticas específicas e topográficas entre essas florestas. De acordo com os autores, as florestas nebulares tendem a ocorrer em ambientes costeiros, climas com valores mais baixos de máximas e médias temperaturas, áreas com maior pluviosidade e altitudes mais elevadas em comparação com

outras florestas de altitude. Sendo assim, as florestas nebulares apresentam características climáticas e topográficas únicas, sendo essas variáveis boas preditoras na modelagem potencial de espécies para essas florestas.

Em associação às florestas nebulares, acima da linha das árvores, ocorrem os chamados Complexos Rupestres de Altitude (BENITES et al., 2003). Essa denominação foi dada às formações heterogêneas de campos rupestres e os campos de altitude e são caracterizadas por mosaicos de tipos de vegetação (BENITES et al., 2003). Esses mosaicos apresentam inúmeras combinações e variações fisionômicas que respondem às características topográficas, tipos de solo e principais rochas matrizes, além do contato com diferentes biomas, resultando em alta diversidade e complexo zoneamento da vegetação (RIBEIRO; FREITAS, 2010). Esses ecossistemas distintos apresentam características peculiares do solo, sendo, geralmente, rasos, arenosos, com alta saturação de alumínio e diferentes quantidades de matéria orgânica (BENITES et al., 2007).

Visando a encontrar a extensão real das florestas nebulares na Serra da Mantiqueira foram aplicadas técnicas de modelagem e sensoriamento remoto. A modelagem preditiva de distribuição de espécies consiste em um processamento computacional que combina dados sobre a ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais, construindo, assim, uma representação das condições requeridas pela espécie (ANDERSON et al., 2003). Alguns algoritmos têm sido aplicados para criar modelos que representem essas condições ambientais e podem ser projetadas em um mapa que mostra as áreas potenciais de ocorrência dessas espécies (GIANNINI et al., 2012) A modelagem de distribuição potencial de espécies tem se tornado um componente importante dos planos de conservação e uma grande quantidade de técnicas de modelagem tem sido desenvolvida com essa finalidade (GUISAN; THULLER, 2005).

Já, o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e

outros dados da superfície terrestre, através da captação e registro da energia emitida ou refletida pela superfície (FLORENZANO, 2011), provendo excelentes bases para a realização de mapas de cobertura e uso do solo (COLGATON; GREEN, 1999). Utiliza-se o sensoriamento remoto para a realização de mapas, porque é, geralmente, mais barato e rápido do que coletar os dados no solo; oferece uma perspectiva por cima, permitindo um melhor entendimento das relações espaciais e permite a coleta de tipos de dados que os humanos não podem sentir como a parte infravermelha do espectro electromagnético (COLGATON; GREEN, 1999).

A segmentação de imagens é um procedimento computacional aplicado antes de um algoritmo de classificação automática (FLORENZANO, 2011). A segmentação multirresolução permite produzir objetos a partir de imagens homogêneas (PILS; STROBL, 2007). Além disso, permite segmentar uma imagem em níveis (escalas) que se relacionam entre si, formando uma rede hierárquica e a base do conhecimento para a classificação de objetos (FLORENZANO, 2011).

As técnicas de classificação de imagens digitais visam ao reconhecimento automático de objetos, de acordo com determinado critério de decisão, agrupando, em classes, os objetos que apresentam similaridade em suas respostas espectrais (FLORENZANO, 2011). O resultado de uma classificação digital de imagens é um mapa temático, no qual o grupo de pixels (quando a imagem é segmentada) da imagem foi classificado em uma das várias classes definidas (FLORENZANO, 2011).

O pós- processamento tem como objetivo corrigir os erros resultantes da classificação automática. (FLORENZANO, 2011). Um mapa temático deve apresentar o seu grau de confiabilidade, sendo essencial para analisar e definir a sua precisão estatística (PINHEIRO; KUX, 2007). A matriz de erro permite o uso de análise multivariada para determinar a correlação entre a pesquisa de

campo e o mapa obtido pela classificação (PINHEIRO; KUX, 2007). A matriz de erros pode ser usada para computar outras medidas de acurácia, como a acurácia global e a estatística de Kappa (COLGATON; GREEN, 1999).

3 CONCLUSÃO

No presente estudo, demonstrou-se a importância em se mapear a extensão das florestas nebulares. Essas florestas contribuem com aportes adicionais de água no sistema, por meio da captação de água da nuvem condensada nas florestas. Nesse contexto, o adequado planejamento na conservação dessas florestas irá garantir a produção contínua de água nas nascentes, garantindo, assim, a existência de água potável e de qualidade para as futuras gerações, considerando-se que a falta de água já é uma realidade presente de nosso cotidiano.

Futuros trabalhos ainda serão necessários para a identificação das áreas de maior biodiversidade e balanços hídricos favoráveis na Serra da Mantiqueira. A pequena porção de área florestada em relação à área predita reforça a prioridade na conservação de importantes partes da cadeia de montanhas da Mantiqueira, onde apenas 21% das florestas nebulares estão inseridas em unidades de conservação de proteção integral, dentro do domínio da Mata Atlântica, já tão ameaçado. Em particular, a criação de um grande bloco de área protegida, representado pelo já idealizado Parque Nacional dos Altos da Mantiqueira, na porção central da Serra, bem como a criação de alguma forma efetiva de proteção na região da Serra de Carrancas, assumem especial importância.

Estudos adicionais da biodiversidade, a partir de diferentes tipos de florestas de nuvens brasileiras, continuam a ser uma necessidade para apoiar ainda mais o desenvolvimento de uma política pública para a proteção dessas

frágeis florestas e seus ecossistemas associados, tais como o complexo rupestre de altitude. Além disso, a taxa de desflorestamento na Mata Atlântica é ainda alta, aproximadamente de 490 km² ao ano. Se for considerado que a maioria dos remanescentes florestais está localizada em montanhas, essa taxa pode significar o desaparecimento das florestas nebulares em poucos anos. Tal situação é agravada pelas alterações do código florestal brasileiro, intensificando ações destrutivas antrópicas, e pelo possível deslocamento da produção de café, decorrente das mudanças climáticas, além desta em si. Nesse possível cenário de destruição das florestas nebulares, a produção de água gerada pelas montanhas estará comprometida, assim com o abastecimento das grandes cidades que delas dependem.

REFERÊNCIAS

ALDRICH, M. et al. **A Global Directory of Tropical Montane Cloud Forests - Draft**. Cambridge: World Conservation Monitoring Centre, 1997. 268p.

ANDERSON, R.P.; LEW, D.; PETERSON, A.T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 162, n. 3, p. 211-232, April, 2003.

BENITES, V.M. et al. Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 76-85, jan./jul. 2003.

BENITES, V.M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 569-577, out.-dez. 2007.

BRUIJNZEEL, L. A. et al. Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. In: BRUIJNZEEL, L.A.; SCATENA F.N.; HAMILTON, L.S. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests**. Science for Conservation and Management. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 691-740.

BUBB, P. et al. **Cloud Forest Agenda**. Cambridge: UNEP WCMC, 2004. Disponível em: <http://www.unepwcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.htm>. Acesso em: 8 out. 2009.

COLGATON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 123p.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128 p.

GIANNINI, T.C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, p. 733-749, jul.-set. 2012.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8, n. 9, p. 993-1009, September, 2005.

HAMILTON, L.S. Una campaña por los bosques nublados: ecosistemas únicos y valiosos en peligro. In: KAPPELLE, M.; BROWN, A.D. (Ed.). **Bosques nublados del neotrópicos**. Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, INBIO, 2001. p. 42-49.

HAMILTON, L.S.; JUVIK J. O.; F.N. SCATENA. The Puerto Rico Tropical Cloud Forest Symposium: Introduction and Workshop Synthesis. In: HAMILTON, L.S.; JUVIK, J.O.; SCATENA, F.N. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests: Proceedings of an International Symposium**. New York: Springer Verlag, 1995. p. 1-23.

JARVIS, A; MULLIGAN, M. The climate of tropical montane cloud forests. In: BRUIJNZEEL, L.A.; SCATENA F.N.; HAMILTON, L.S. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests**. Science for Conservation and Management. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 39-56.

MITTERMEIER, R.A et al. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. New York: CEMEX conservation international, 2004. 16 p.

MYERS et al., Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 24, p. 853- 858, February, 2000.

NAVARRO, E. A. **Método moderno de tupi antigo**: a língua do Brasil dos primeiros séculos. 3ª edição. São Paulo: Global, 2005. p. 69.

PILS, H.; STROBL, J. Análise de Impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: BLASCHKE, T.; KUX, H.J.H. (Ed.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**: novos sistemas sensores: métodos inovadores. São Paulo: Oficina de textos, 2007. p. 162-171.

PINHEIRO, E.S.; KUX, H.J.H. Imagens Quickbird aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura da terra do centro de pesquisas e conservação da natureza Pró-Mata. In: BLASCHKE, T.; KUX, H.J.H. (Ed.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**: novos sistemas sensores: métodos inovadores. São Paulo: Oficina de textos, 2007. p. 269-287.

PONCE-REYES, R. et al. Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. **Nature Climate Change**, London, v.2, p. 1-5. March, 2012.

RIBEIRO, K.T.; FREITAS, L. Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 239-246, out-dec. 2010.

SCATENA, F.N.; BRUIJNZEEL, L.A.; BUBB, P.; DAS, S. 2010. Setting the stage. In: BRUIJNZEEL, L.A.; SCATENA F.N.; HAMILTON, L.S. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests**. Science for Conservation and Management. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 3-13.

VÁZQUEZ-GARCÍA, J.A. Cloud forest archipelago: preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. In: HAMILTON, L.S.; JUVIK, J.O.; SCATENA, F.N. (Ed.). **Tropical Montane Cloud Forests**: Proceedings of an International Symposium. New York: Springer Verlag, 1995. p. 315-332.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

ARTIGO 1

**Modelling Atlantic cloud forest extent in the Serra da
Mantiqueira, southeastern Brazil**

Patrícia Vieira Pompeu, Marco Aurélio Leite Fontes, Fausto Weimar Acerbi
Júnior, Marinez Ferreira de Siqueira, Luciana Hiromi Yoshino Kamino, Inácio
Thomaz Bueno, Maarten Waterloo, Mark Mulligan, L. Adrian Bruijnzeel

Artigo submetido na revista Diversity and Distributions

ABSTRACT

Aim To estimate the potential distribution of Atlantic cloud forests in the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil, by modelling the spatial distribution of cloud forests getting this closer as possible to the actual area using the combination between predictive species distribution modelling and remote sensing techniques.

Location southeastern Brazil

Methods The predictive spatial distribution of cloud forests in the Serra da Mantiqueira was estimated using the Maxent algorithm. The distribution modelling was performed with a set of different environmental variables: standard bioclimatic variables (12 layers), topographic variables (two layers) and cloud variable (one layer). After we estimated the potential cloud forest distribution area we used remote sensing techniques aiming to approximate the actual cloud forest area and remove misclassified parts that were modeled as cloud forest. We mapped four land use classes: cloud forest, planted forest, high altitude complex and others. The final mapped cloud forest areas were compared with a map of existing protected areas aiming to analysis the protection cover of those areas.

Results The results indicated an excellent prediction of cloud forest distribution showing close agreement with the bioclimatic data. Higher suitability occurrence of these forests corresponding with the higher parts of the Serra da Mantiqueira. Although the environments are suitable for the cloud forest presence according to the predictive modelling method, the actual occurrence differs of cloud forest on extent half of the predicted modeled area. Most of the cloud forest areas mapped are already under some form of nominal protection, with most areas belonging to the Protected Area with Sustainable Use of Natural Resources category.

Main conclusions The combination between the predictive distribution modelling and remote sensing techniques enabled an integrated approach involving the mapping distribution of cloud forest extent. The presently obtained results reinforce the need to assign a high conservation priority to the Serra da Mantiqueira as a whole and to create a core area with full protection status.

Keywords

species distribution modelling, Brazilian cloud forest, object-oriented classification

1 INTRODUCTION

Frequent fog (*i.e.*, ground-based cloud occurrence) and persistent high humidity are key factors determining cloud forest occurrence (Mulligan, 2010; Bruijnzeel *et al.*, 2011; Jarvis and Mulligan, 2011). Due to the narrow range of environmental conditions tolerated by many components of these fragile forests (*e.g.*, bryophytes, vascular epiphytes, amphibians, etc.; Nadkarni and Solano, 2002; Williams *et al.*, 2003; Pounds *et al.*, 2006; Zotz and Bader, 2009; Ponce-Reyes *et al.*, 2012), anthropogenic actions that promote climatic warming and drying, and therefore a rise in the lifting condensation level (*i.e.*, the cloud base; Nair *et al.*, 2003; Ray *et al.*, 2006; Van der Molen *et al.*, 2006) form the main threat to the future of these forests along with habitat loss by conversion to other land uses (Mulligan, 2010; Ponce-Reyes *et al.*, 2013). Although knowledge of the global occurrence and extent of tropical montane cloud forests has improved vastly over the last two decades (Doumenge *et al.*, 1995; Aldridge *et al.*, 1997; Mulligan, 2010), there is still much to be learned about their spatial distribution, biological richness and ecological variation at the local to regional mountain scale (Bruijnzeel *et al.*, 2010). Therefore, fine-scale studies of montane cloud forest distribution remain an important research priority (cf. Lawton and Dryer,

1980; Weaver, 1995; Homeier *et al.*, 2008; Hemp, 2010; Meyer, 2010).

The cloud-affected parts of the Mata Atlântica in Brazil represent a case in point. Not only is the Atlantic Forest at large one of the world's most important biodiversity hot spots (Myers *et al.*, 2000) but much of the remaining forest is highly fragmented and restricted to high-elevation areas in southern and southeastern Brazil only (Bertoncello *et al.*, 2011). Estimates of the overall loss of Atlantic forest *sensu lato* vary between 84% and 89% (*i.e.* 11.4–16% remains; Ribeiro *et al.*, 2009). The Mata Atlântica s.l. comprises a number of sub-types, including various rain forests and semi-deciduous forests as well as subtropical *Araucaria* forest whose floristics in southeastern Brazil have been described in some detail by Oliveira-Filho & Fontes (2000). Atlantic cloud forests are much less researched in this respect (Falkenberg & Voltolini, 1995; Carvalho *et al.*, 2000; Pompeu *et al.*, 2014) but a recent regional study supports the idea that the Atlantic cloud forest constitutes a distinct floristic and phytogeographical unit (Bertoncello *et al.*, 2011). This opens up possibilities for mapping regional and local cloud forest extent based on a demonstrated occurrence of diagnostic species (Webster, 1995; Vázquez-García, 1995). Some 60% of Brazil's original cloud-affected forest area is estimated to have been lost, with the country ranking second in terms of cloud forest loss after Mexico (Mulligan, 2010). The remaining cloud forests of southeastern Brazil occur primarily in two coastal mountain ranges (the Serra do Mar and the Aparados da Serra; Aldrich *et al.*, 1997) as well as in the Serra da Mantiqueira, a less explored mountain range located somewhat more inland. According to Bertoncello *et al.* (2011), the typical elevation of the cloud base (and the beginning of a distinct cloud forest type) in the coastal range occurs around 1120 m.a.s.l., whereas further inland the cloud level condensation is rather found at ca. 1500 m.a.s.l. (Veloso, 1991) in line with the mass elevation *c.q.* coastal proximity effects (Van Steenis, 1972; Bruijnzeel *et al.*, 1993). Knowledge of the floristic composition and

biogeography of these montane forests is still limited (Carvalho *et al.*, 2000; Bertonecello *et al.*, 2011; Pompeu *et al.*, 2014).

The importance of the Serra da Mantiqueira as a source of water was recognized well before European colonization, as evidenced by the mountains name in the indigenous Tupí-Guarani language, which translates as ‘Weeping Mountains’ (Becker *et al.*, 2013). This region has a pronounced dry season in winter but severe drought effects on the vegetation appear to be compensated by the occurrence of frequent orographic fog (Segadas-Vianna & Dau, 1965; Safford, 1999a). As also observed for the Mata Atlântica at large (Ribeiro *et al.*, 2009; cf. Falkenberg & Voltolini, 1995; Safford, 1999a), the lack of a comprehensive forest management plan coupled with a steady increase in agricultural forms of land use threaten the remnants of Atlantic Forest in the Mantiqueira Mountains and urgent action for their conservation is required (Becker *et al.*, 2013). Le-Saout *et al.* (2013), similarly called for effective management and conservation of the area because of its unique vertebrate species assemblage.

Given the importance of fog and persistent high humidity to cloud forest occurrence (Jarvis & Mulligan, 2011), and the high spatial resolution required for mapping cloud forest in the area, this study aimed to estimate the cloud forest occurrence in the Serra da Mantiqueira by modelling the spatial distribution of cloud forests getting this closer as possible to the actual area using the combination between predictive species distribution modelling and remotely sensed techniques. For this, we estimated the potential cloud forest distribution area and then we split this modeled area through object-oriented classification in cloud forest, planted forest, high altitude complex (Benites *et al.*, 2003) and other land-use.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study area

The Serra da Mantiqueira is an inland mountain range extending over a length of ca. 400 km across the States of São Paulo, Espírito Santo, Minas Gerais and Rio de Janeiro in southeastern Brazil, with the greatest extent located in Minas Gerais (Figure 1). The ‘double escarpment’ represented by the (more coastal) Serra do Mar and the (more inland) Serra da Mantiqueira forms the most prominent orographic feature of the Atlantic edge of the South American continent (Almeida & Carneiro, 1998). According to IBGE (2014), the total area of the Serra da Mantiqueira is 60,225 km² and elevations range from 3–2,798 m.a.s.l. Despite this there are no exact administrative or geographical boundaries established for the mountain range and most authors differ in their estimates (Pelissari & Romaniuc Neto, 2013). For this reason we built our own Serra da Mantiqueira delimitation area adapted from IBGE (2014) and Pelissari & Romaniuc Neto (2013).

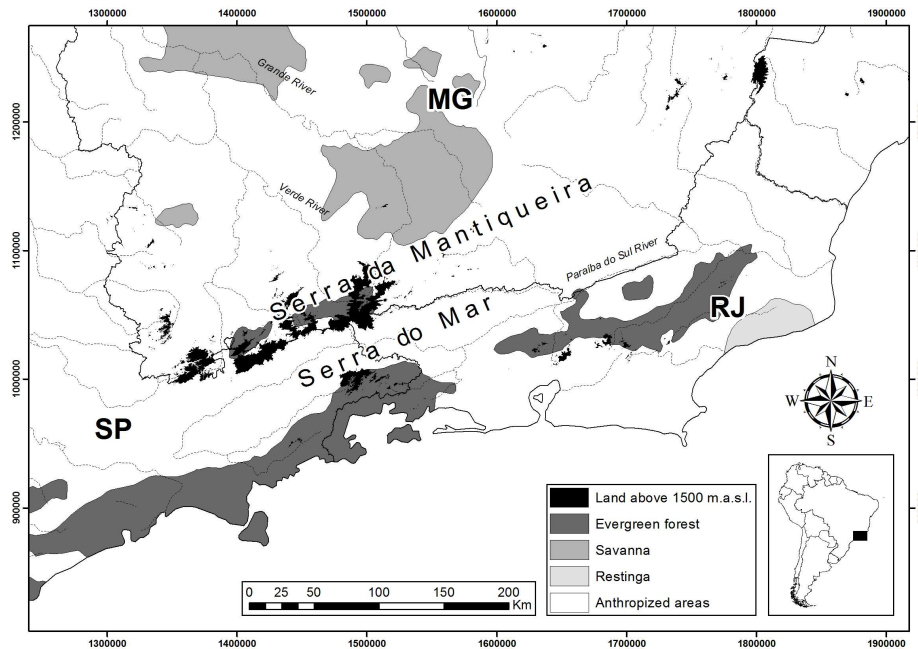


Figure 1 Major physiographic, hydrographic and vegetation features of southeastern Brazil. In dark the land above 1500 m.a.s.l (approximate cloud level condensation boundary in Serra da Mantiqueira) where the predominant vegetation is cloud forest and above the tree-line is high altitude complex. Data source: IBGE, 2014.

At latitudes 21–23 °S, the climate prevailing in most of the mountain range is humid temperate (Köppen-type Cwb) with a pronounced dry season in winter that increases with distance from the coast (Safford, 1999a; Sá Júnior *et al.*, 2012). With long-term rainfall stations largely lacking in the higher parts of the range, information on precipitation distribution can only be approximate. The WorldClim database (Hijmans *et al.*, 2005) for the study area suggests annual rainfall to range from about 1130 (7 m.a.s.l.) to 2430 mm (2650 m.a.s.l.), with higher values found at higher elevations due to an orographic effect (Safford, 1999b). The total precipitation for the wettest three (southern summer)

months ranges from 465–1160 mm and that for the three driest (southern winter) months from 40–170 mm (Hijmans *et al.*, 2005). Depending on elevation, average annual temperature ranges from 25.0°C (at 78 m.a.s.l.) to 8.7 °C at 2650 m.a.s.l.; the minimum temperature of the coldest month ranges from -1.4 at 2340 m.a.s.l. to 18.3 °C at 10 m.a.s.l., and the maximum temperature of the warmest month from 16 at 2340 m.a.s.l. to 33.5 °C at 100 m.a.s.l. (Hijmans *et al.*, 2005). Frost occurs frequently at higher elevations during the dry winter season but snow is rare (Safford, 1999b) with the latest occurrences (at elevations > 2000 m.a.s.l. in the Itatiaia National Park in the central part of the mountain range) recorded in 1988 and 2012 (Brasil, 2014a).

The wide range in topographic and altitudinal conditions prevailing in the Serra da Mantiqueira is reflected by an equally high environmental variability and differentiation of its ecosystems (Instituto Oikos de Agroecologia, 2009). According to Oliveira-Filho & Fontes (2000) there are different sub-types of tropical rain forests classified according to elevational categories: Submontane Rain Forest (300–700 m.a.s.l.), Lower Montane Rain Forest (700–1100 m.a.s.l.), and Upper Montane Rain Forest (>1100 m.a.s.l.). On the northern and western drier slopes seasonal tropical Semi-deciduous Forest occurs (Oliveira-Filho & Fontes, 2000). The Atlantic cloud forest occurs in Serra da Mantiqueira together the cloud level condensation boundary ca. above 1500 m.a.s.l. (Veloso, 1991). Depending on soil characteristics (Benites *et al.*, 2001) the tree-line occurs at elevations ranging from 1400–2300 m.a.s.l. (cf. Safford, 1999a; Benites *et al.*, 2007) above which the predominant vegetation is high altitude complex (Benites *et al.*, 2003) (locally called *campos de altitude*; Safford, 1999a) or less widespread rocky grassland (called *campos rupestres*; Vasconcelos, 2011). The *campos de altitude* are typically associated with igneous or metamorphic rocks while the *campos rupestres* occur in association with quartzites (Vasconcelos, 2011). The floristic composition of the high

altitude complex is highlighted for a high endemism level (20% of total Atlantic forest endemism occur in these formations plus/or in rocky outcrops; Ribeiro & Freitas, 2010) and many species of flora and fauna are endangered (Benites *et al.*, 2001).

In Brazil there aren't coniferous forests, but there are forests with coniferous (Backes, 2009), called mixed forests, with a predominant presence of the conifers *Araucaria angustifolia* and in a few places *Podocarpus lambertii* (being a common associate of *Araucaria*; Veblen *et al.*, 2005). These forests are found as scattered fragments within the Serra da Mantiqueira at elevations above 1500 m.a.s.l (Backes, 2009).

According to Oliveira-Filho & Fontes (2000) the tree flora of the semi-deciduous forest is a fraction of the much richer rain forest flora, and consists mostly of a sub-set of species that are able to cope with a longer dry season. Conversely, the Atlantic cloud forests were shown to be floristically distinct from the equally wet coastal Atlantic rain forests, with *Drimys brasiliensis*, *Ilex microdonta*, and *Weinmannia paulliniifolia* being key indicator species for the cloud forest (Bertoncello *et al.*, 2011). In the Serra da Mantiqueira, cloud forests are also the preferred habitat of species like *Cabrlea canjerana*, *Lamanonia ternata*, *Myrcia splendens*, *Myrsine umbellata*, and *Prunus myrtifolia* (Pompeu, *et al.*, 2014).

2.2 Predictive cloud forest distribution modelling

We treated cloud forest as a species following the same method of Carnaval & Moritz (2008), Ponce-Reyes *et al.* (2012; 2013). To model the predictive distribution of cloud forest within the Serra da Mantiqueira based on habitat occurrence records, we used the Maxent algorithm version 3.3 (Phillips *et al.*, 2006). This algorithm has the advantage of requiring only presence data (Phillips *et al.*, 2006) whereas in addition it is designed in such a way as to allow robust predictions to be made in the case of limited data (Phillips & Dudík,

2008). The predictions were validated through 10-fold cross-validation and evaluated using the TSS-method (True Skill Statistics; Alouche *et al.*, 2006). This provides a simple and intuitive measure of model performance ranging from -1 to +1, where +1 indicates perfect agreement and values of zero or less indicate a performance no better than random (Alouche *et al.*, 2006). We created 6,500 background points (100 to each point presence data), following Lobo & Tognelli (2011). We used the minimum training presence logistic threshold value to create a binary map of the presences and absences of the model.

In order to obtain the points with the spatial distribution of cloud forest occurrence we created polygons on the Serra da Mantiqueira known cloud forests areas and extracted random points from those areas using the Hawth's Analysis tools in ArcGis 10.2, generating 65 occurrence points in total. The actual location of the cloud forest areas were taken from literature (Safford, 1999a; Carvalho *et al.*, 2000; Oliveira-Filho *et al.*, 2004; França & Stehman, 2004; Meireles *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2011; Valente *et al.*, 2011; Pompeu *et al.*, 2014) and based on the authors knowledge. All cloud forest areas were ascertained during an extensive field campaign.

The spatial distribution modelling was performed with a set of different environmental variables: standard bioclimatic variables (12 layers), topographic variables (two layers) and cloud variable (one layer). The bioclimatic layers were obtained from CliMond global climatologies for bioclimatic modelling version 1.2 (www.climond.org), with 10' resolution or ca. 20 km (more information about these layers see Kriticos *et al.*, 2012). We choose the follow bioclimatic layers to model the environmental habitat of cloud forests: annual mean temperature (°C), Isothermality, temperature seasonality, temperature annual range, annual precipitation (mm), precipitation of the driest and wettest quarter of the year (mm), annual mean radiation (W m^{-2}), radiation seasonality, annual mean moisture index, mean moisture index of wettest and driest quarter.

We also created a digital elevation model (DEM) at 90 m resolution from shuttle radar topography mission (SRTM) downloaded in Brasil (2014b) to create slope gradient and downslope direction (aspect) using the Spatial Analyst tool in ArcGIS 10.2 (more 2 layers). However, we did not use the elevation variable as a layer in the modelling process because it is a synthesis variable of others climatic variable than a direct climate variable (Ponce-Reyes *et al.* 2012; 2013).

The cloud variable was created based on the blue band values (0.40 - 0.52 μm) from four Landsat Surface Reflectance Climate Data Record (CDR) images (one per season) with maximum cloud cover acquired in the 2010-2011 period. We obtained the images from the U.S. Geological Survey (2013), these images already have sub-pixel geolocation accuracies and land surface reflectance corrected. These data product has a 30 meter pixel size and 16-day temporal coverage. The blue band was selected since there is a much stronger tendency for short wavelengths to be scattered, showing the cloudy and fog areas, than long wavelengths.

All variables were transformed to 1 km resolution to match among them and with the presence points. We also projected the layers in the South America Albers Equal Area Conic coordinate system, as all the remote sensing data used. Aiming to find which environmental variables offer more important contribution to predict the cloud forest presence we did the Principal Component Analysis (PCA) using the software Statistica version 12 (StatSoft, 2013).

2.3 Remote sensing techniques

After we estimated the potential cloud forest distribution area we used remote sensing techniques aiming to approximate the actual cloud forest area and remove misclassified parts that were modeled as cloud forest. For this we used Landsat TM images (2010-2011 period) covering all Serra da Mantiqueira area to start the land cover classification process. The images available were

obtained with free cloud and noise disturbance.

We adopted the object-oriented classification approach using the software eCognition Developer 8.0 (eCognition, 2009). In this approach the images need to be segmented before the classification, and for that we used the multiresolution segmentation algorithm (Pils & Strobl, 2007). The segmentation process allowed the use of spectral as well as textural and contextual information as attributes for land cover classification. (Zhang & Maxwell, 2006). Here we utilized the Fuzzy Logic Classification algorithm to classify the images. Fuzzy classification is a probabilistic approach and a powerful classification technique that uses expert system rules for classification (Navulur, 2006).

We defined four land use classes to be mapped: cloud forest, planted forest, High Altitude Complex (*campos de altitude* plus *campos rupestres*) and others (e.g. agriculture; water bodies; bare soil; urbanization). After the image classification we performed the post-processing, which aimed to correct the mistakes resulting from automatic classification (Florenzano, 2011). In this step we used the expert knowledge and auxiliary data such as high-resolution images to correct the objects that were misclassified. After obtaining the classification results, the validation was carried out by overlapping the classification information with accurate samples, generating accuracy assessment as the Kappa analysis and overall accuracy.

The respective classified cloud forest cover were plotted on maps showing the boundaries of existing Protected Areas as determined from shape files downloaded from the Brazilian Ministry of the Environment website (Brasil, 2014c), with the purpose of estimating the area of Atlantic cloud forest in the region that is under some kind of formal protection. Two categories were considered, viz. Protected Areas with Sustainable Use of Natural Resources and Conservation Units with Full Protection under Law No. 9985/2000 (Brazilian System of Conservation Sites-SNUC).

3 RESULTS

3.1 Modelling cloud forest extent

The corresponding total area potentially covered with cloud forest was estimated at 5,008 km². The model showed a high TSS-value of 0.94 indicating excellent prediction (Alouche *et al.*, 2009). Higher suitability of occurrence of these forests corresponding with the higher parts of the Serra da Mantiqueira (cf. Figure 1 and 2).

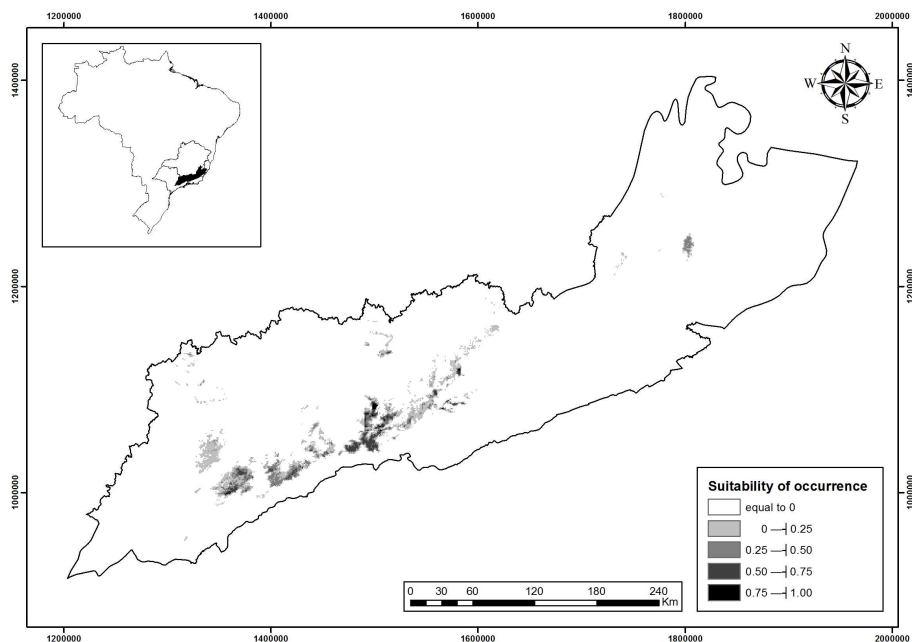


Figure 2 Predicted spatial distribution of cloud forest in the Serra da Mantiqueira using Maxent algorithm. Darker parts represent higher suitability of cloud forest occurrence.

Looking at the relative importance of each of the variables evaluated by the PCA analysis (first axis) used in the predicted modelling of cloud forest extent, these were in descending order: annual mean moisture index, annual mean temperature, precipitation of driest quarter, mean moisture index of driest

quarter, radiation seasonality, annual precipitation, annual mean radiation, temperature seasonality, mean moisture index of wettest quarter, precipitation of wettest quarter, isothermality, cloud variable, slope gradient, aspect and temperature annual range. Assessing these results we can conclude that the climatic variables are more important to the cloud forest presence than the topographic variables. Although the contribution of these variables are very well distributed in terms of total percentage importance (Table 1).

Table 1 Percentage contribution of environmental layers through PCA statistic that were used in the Maxent algorithm modelling method and their respective units.

Variable	Percent contribution
Annual mean moisture index	13.84
Annual mean temperature (°C)	11.54
Precipitation of driest quarter (mm)	11.11
Mean moisture index of driest quarter	10.88
Radiation seasonality (C of V)	9.91
Annual precipitation (mm)	9.77
Annual mean radiation ($W m^{-2}$)	8.86
Temperature seasonality (C of V)	7.88
Mean moisture index of wettest quarter	7.50
Precipitation of wettest quarter (mm)	4.09
Isothermality	2.34
Cloud variable	1.46
Slope	0.45
Aspect	0.34
Temperature annual range (°C)	0.05

Aiming to approximate the actual cloud forest extent we classified the predicted modeled area. Although the environments are suitable for the cloud forest presence according to the predictive modelling method the actual occurrence can differ from it, because parts of the land cover have suffered anthropogenic disturbance (agriculture, urbanization, planted forest). Assessing the classification land use map (Figure 3) we can conclude that 52.52% (2,630 km²) is cover by cloud forest, 27.06% (1,355 km²) are others land use, 17.28% (865 km²) is high altitude complex and 3.15% (157 km²) is planted forest.

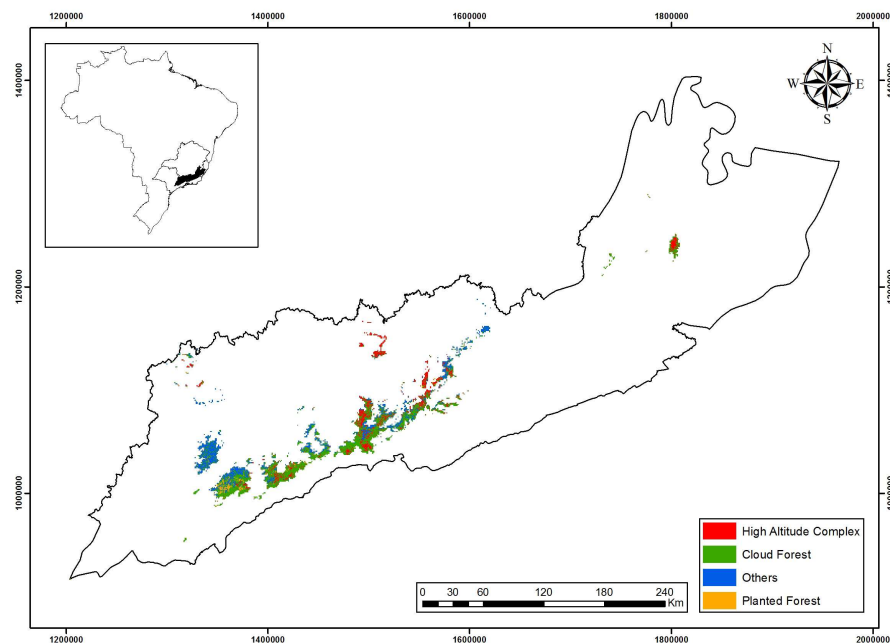


Figure 3 Land-use map of the Serra da Mantiqueira study area. The modeled cloud forest area was mapped and split in High Altitude Complex; Cloud Forest; Others and Planted Forest. See text for explanation.

So the cloud forest extent is half of the predicted modeled area. In this work we can only approximate the high altitude complex area because we did not model this we just split from cloud forest modeled area. The accuracy

assessment was evaluated from the confusion matrix. Thus we obtained an overall accuracy of 87.50% and a Kappa analysis of 0.87 showing excellent classification veracity.

3.2 Cloud forest protection status

The presently inferred cloud forest areas in the Serra de Mantiqueira (2,630 km²; cloud forest after to be modeled and split in the classification process) have been plotted over the boundaries of the two types of Protected Areas considered in the Brazilian conservation system, viz. Conservation Units with Full Protection (CUFP) and Protected Areas with Sustainable Use of Natural Resources (SUPA) as shown in Figure 4. Although a significant portion of the modeled cloud forest area is under some form of protection (2,036 km² or 77% of the total area), most of this (1,477 km² or 73%) is categorized as SUPAs while CUFPs represent 559 km² or 27% only. In addition, the vast majority of the SUPAs fall in the category of Environmental Protection Areas (EPA, Table 2).

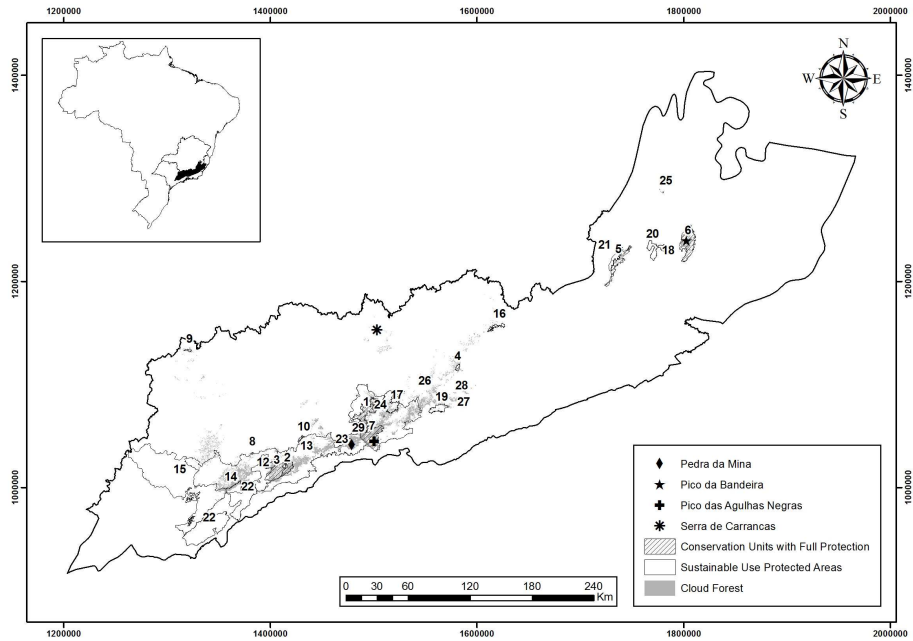


Figure 4 Final mapped cloud forest areas compared with the location of Protected Areas, distinguishing between the two groups within the Brazilian Conservation System. The numbers are relating to the table 2. See text for explanation.

Table 2 Final mapped cloud forest areas relative to Brazilian Protected areas. Where, ID: number related to Figure 4. Conservation Unit Name: In bold the Conservation Unit category and their respective names; Groups of the Brazilian System: SUPA (Protected Areas with Sustainable Use of Natural Resources), CUFPP (Conservation Unit of Full Protection); State: SP (São Paulo), MG (Minas Gerais), RJ (Rio de Janeiro).

ID	Conservation Unit Name	Groups of the Brazilian	
		System	State
State Park			
1	Serra do Papagaio	CUFP	MG
2	Campos do Jordão	CUFP	SP
3	Mananciais de Campos do Jordão	CUFP	SP
4	Ibitipoca	CUFP	MG
5	Serra do Brigadeiro	CUFP	MG
National Park			
6	Caparaó	CUFP	ES-MG
7	Itatiaia	CUFP	RJ-MG
City Nature Park			
8	Brejo Grande	CUFP	MG
9	Parque São Domingos	CUFP	MG
Biological Reserve			
10	Serra dos Toledos	CUFP	MG
Environmental Protection Area (EPA)			
11	Fernão Dias	SUPA	MG
12	Sapucaí-Mirim	SUPA	SP
13	Serra da Mantiqueira	SUPA	SP/MG/RJ

14	São Francisco Xavier	SUPA	SP
15	Piracicaba-Juqueri-Mirim	SUPA	SP
16	Serra do Pito Acesso	SUPA	MG
17	Francês	SUPA	MG
18	Caparaó	SUPA	MG
19	Boqueirão da Mira	SUPA	MG
20	Árvore Bonita	SUPA	MG
21	Araponga	SUPA	MG
22	Bacia do Rio Paraíba do Sul	SUPA	SP
National Forest			
23	Passa Quatro	SUPA	MG
Private Reserve of Natural Heritage			
24	Mitra do Bispo	SUPA	MG
	Estação Biológica Mata do		
25	Sossego	SUPA	MG
26	Sítio Estrela da Serra	SUPA	MG
27	Fazenda Serra Negra Área A	SUPA	MG
28	Fazenda Serra Negra Área B	SUPA	MG
29	Alto-Montana	SUPA	MG

Several important and well-known Protected Areas shown in Figure 4 and listed in Table 2 include the Itatiaia and Caparaó National Park; the Ibitipoca, Pico do Papagaio, Campos do Jordão, Mananciais de Campos do Jordão, and Serra do Brigadeiro State Parks; the Serra da Mantiqueira Environmental Protection Area, and the Alto-Montana Private Natural Heritage Reserve. In addition, other areas indicated as having cloud-affected vegetation in Figure 4 include areas around the highest ridges and peaks of the Serra da

Mantiqueira, where the dominant vegetation is high altitude complex with fragmented cloud forests under the tree-line. Examples include the Caparaó National Park (no. 6), Serra Fina region around the Alto-Montana Private Natural Heritage Reserve (no. 29) and the Itatiaia National Park (no. 7) with the third, fifth and sixth highest peaks in Brazil (the Pico do Caparaó (2892 m.a.s.l.), the Pedra da Mina (2798 m.a.s.l.) and the Pico das Agulhas Negras (2792 m.a.s.l.), respectively. In addition to the main mountain range, other areas with a high suitability of cloud forest occurrence (fragmented areas below high altitude complex) include the currently non-protected Serra de Carrancas (cf. Lima *et al.*, 2011) in the central northern part (Figure 4).

4 DISCUSSION

Regarding the estimation of the distribution and the real extent of tropical montane cloud forests, different methods have been applied in the past. Using pre-set altitudinal limits as a proxy for the climatic and edaphic conditions typically associated with cloud forests, Bubb *et al.* (2004) estimated their potential area world-wide at 381,166 km² or 2.5% of the total tropical forest area in the year 2000. In a reiteration of the Bubb *et al.* (2004) analysis using MODIS satellite-based vegetation coverage for the year 2000 (VCF 2000), Scatena *et al.* (2010) estimated the distribution of montane cloud forests between 30^o N and 30^o S for that year at about 215,000 km², representing 1.4% of the global tropical forest area and 6.6% of all tropical montane forests (> 300 m.a.s.l.). Conversely, a much higher estimate for ‘significantly cloud-affected forest’ area was obtained by Mulligan (2010) using a hydro-climatic approach in combination with MODIS_VCF 2000 vegetation data: 2,213,292 km² or 14.2% of the total area estimated for all tropical forests. Mulligan (2010) considered his estimate to be more realistic than the altitudinally based cloud forest extent predicted by

Scatena *et al.* (2010) because of the use of satellite imagery to derive areas with frequent or persistent fog (>70% of the time), and remotely sensed continuous field data to delineate vegetation coverage. Furthermore, his derived cloud forest distribution was tested against an observed data-set of more than 560 cloud forest locations, of which 71% were predicted correctly (81% when taking various error bands into account; Mulligan, 2010). However, the hydro-climatic approach yielded an estimated total area of 195,357 km² as being under cloud forest for Brazil as a whole (Table 2.5 in Mulligan, 2010) which must be considered unrealistically high given that the total area of remaining Mata Atlântica (all forest types) has been estimated at 157,193 km² by Ribeiro *et al.* (2009) and in the Guyana Highlands there are only a small amount of Amazon cloud forests extent (Aldrich *et al.* 1997). Similarly, the hydro-climatic approach derived a total area of 139,986 km² of forest to be cloud-affected in Mexico (Table 2.5 in Mulligan, 2010) while Ponce-Reyes *et al.* (2013) using the same algorithm as that used in the present study obtained the much smaller area of 17,345 km². Part of the reason for such large discrepancies in estimated cloud forest extent lies with the fact that many forest areas are highly fragmented. For example, Ribeiro *et al.* (2009) identified as many as 245,173 forest fragments in their survey of Atlantic forests, more than 80% of which were smaller than 50 ha each while nearly 50% of the forest occurred at a distance of less than 100 m from its edges. Indeed, a much more restricted spatial distribution was obtained for cloud-affected forest in Brazil with the hydro-climatic approach when only more or less intact forest (with a canopy cover of 70%) was used instead of the 10% cover threshold that was applied earlier (Mulligan, 2010), viz. ca. 30,000 km² (Mulligan, unpublished data). Further, the inclusion in the hydro-climatic approach of many small forest fragments may also lead to over-estimation of the total cloud forest area because such areas might in reality no longer experience the original climatic conditions due to the advanced nature of forest disturbance

and replacement in such areas which is likely to have produced warmer and drier atmospheric conditions (Ray *et al.*, 2006; Van der Molen *et al.*, 2006).

According to Falkenberg & Voltolini (1995), the distinctive montane cloud forest formation was largely ignored in publications dealing with Brazilian vegetation until the 1970s. In the widely used cloud forest database compiled by UNEP-WCMC (Aldrich *et al.* 1997) only two major regions with cloud forest are listed for the country (apart from some isolated table mountains in the highlands of Guyana), viz. the Aparados da Serra Geral in the south-southeast (in the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul) and the Serra do Mar (Santa Catarina and Paraná states). Despite the fact that the present study estimated their total area as being close to 2,700 km², the Serra da Mantiqueira cloud forests does not appear in this list.

The application of the Maxent algorithm to predict cloud forest distribution in the Serra da Mantiqueira showed close agreement with the bioclimatic data (Figure 2). This good agreement is likely due to the fact that these forests have well-defined climatic variables that typically differ from those associated with other forest types, *i.e.* cloud forests tend to be wetter, cooler, and more exposed to (moisture-bringing) winds (Jarvis & Mulligan, 2011). These differences from others forest types showed by Jarvis & Mulligan (2011) are similar with our results although some of the variables evaluated are different. Where the first three variables most important to predict the cloud forest extent here were annual mean moisture (this index is a measure of relative soil moisture, see Kriticos *et al.*, (2012)), annual mean temperature and precipitation of driest quarter (Table 1). The Maxent algorithm was also used by Ponce-Reys *et al.*, (2012) to predict the vulnerability of Mexican cloud forests to climate change and estimating that 68% of these forests may have vanished by 2080 by climatic warming and drying. Both modeled (Mulligan and Burke, 2005) and measured (Holwerda *et al.*, 2010) amounts of cloud water inputs in Mexico tend

to be modest, mostly because of predominantly low wind speeds (García-García & Zarraluqui, 2008). Also, water losses from these forests are comparatively high (Muñoz-de Villers *et al.*, 2012; Alvarado-Barrientos *et al.*, 2014) rendering them vulnerable to the kind of climatic drying that has been demonstrated already in some Mexican cloud forest areas (Barradas *et al.*, 2010). Last but not least, the distribution of cloud-affected forest across Mexico mostly takes the form of an ‘archipelago’ of more or less isolated sites within a narrow altitudinal band, thereby increasing vulnerability to disturbance even more (Vázquez-García, 1995). Ponce-Reys *et al.*, (2013) subsequently used the Maxent algorithm to evaluate the extinction risk of focal species (a bird, a frog and a mouse) under different scenarios of climate and/or land use change, with grave results for those species that require a large area for their survival.

The high altitude complex and cloud forest seems to obtain the same climatic and topographic features for their occurrence using the Maxent algorithm. However the tree-line seems to be controlled by the relation with the soil features which play an important vegetation control factor (Benites *et al.*, 2001) where the forest occur in deeper soils and less sandy (Benites *et al.*, 2003). As stated previously, on the highest summits above the tree-line the predominant vegetation is *campos de altitude* for which Safford (1999a) estimated a maximum surface area of ca. 67 km² distributed mostly over three plateau areas (cf. Figure 1). The present study estimated a much higher surface area of 865 km² for the high altitude complex. This could be explained because we did not split *campos de altitude* and *campos rupestres* (both are high altitude complex), but the *campos rupestres* are less widespread (Vasconcelos, 2011) so this is not the reason for this higher value. However these ecosystems are more threatened nowadays because of the recent change of the Brazilian Forestry Code to a more permissible legislation which can result in potential losses for the high altitude complex (Ribeiro & Freitas, 2010). The problem is that the

supposed beneficiaries of this greater permissiveness they do not think the various contributions of biodiversity that are not traditionally recognized as the trivial clean water, erosion decrease, medicinal plants and crop pollination (Ribeiro & Freitas, 2010). In addition forecasts of rising average temperatures with the climate change can result in sharp increase in extinction rates in the high altitude complex vegetation due the fact of there aren't possibility migration to higher altitudes (Ribeiro & Freitas, 2010). These effects may result also in losses for the cloud forests often located around these formations. Other huge threat for the vegetation located in the mountains areas is the coffee production displacement projection to higher elevations (Assad *et al.*, 2004; Ribeiro & Freitas, 2010) where suitable temperatures for this production still may observed (Assad *et al.*, 2004).

An important application of species distribution modelling is to use the predicted areas for choosing priority areas for protection (Franklin, 2013; cf. Ponce-Reyes *et al.*, 2012). Although a representative part of the predicted cloud forest area in this work is at least nominally under some form of protection, the majority falls under the EPA category which was largely designed to facilitate land use planning for territories that have both important natural attributes and experience some degree of human occupation (Instituto Oikos de Agroecologia, 2009; Rylands & Brandon, 2005). This is clearly insufficient to ensure the protection of the last remaining cloud forests (which the cover area represents only 1.67% of all Atlantic forest remaining; total area according Ribeiro *et al.*, (2009)) in the Serra da Mantiqueira with its important water sources (Instituto Oikos de Agroecologia, 2009; Becker *et al.*, 2013).

Only 21% (against 9.3% for the all remaining Atlantic forest, Ribeiro *et al.*, 2009) of the mapped Mantiqueira cloud forest area currently falls under the strict protection category (Conservation Area of Full Protection). This higher value can be explained for the cloud forest localization being restricted to high-

elevation areas where there are most of the Atlantic forests remaining in the south and southeast regions (Bertoncello *et al.*, 2011) resulted for the difficult access to those mountains place (Fundação SOS Mata Atlântica *et al.*, 1998). As a result, important areas within the Serra da Mantiqueira are not protected at all, notably the stretch of about 100 km of ridges and mountains (including the unique high altitude complex) between the Itatiaia National Park and Campos do Jordão State Park containing the Serra Fina (with the Pedra da Mina, the fifth highest peak in Brazil, and the Pico dos Três Estados), as well as the Picos dos Marins and Itaguaré, and the Plateau of Campos do Jordão. The realization of an already proposed (Instituto Oikos de Agroecologia, 2009) Conservation Area of Full Protection (to be named Altos da Mantiqueira National Park) covering 87,000 ha including this large and as yet unprotected area would constitute an important biodiversity corridor (*cf.* Ribeiro *et al.*, 2009; Becker *et al.*, 2013). Other important areas with a predicted cloud forest presence that are currently unprotected include the Serra de Carrancas region (Figure 4), for which it is extremely urgent to create a full protection status to ensure conservation of its vulnerable and unique biodiversity (Lima *et al.*, 2011). Although there are just small cloud forest fragments in the Carrancas region they are surrounding for big high altitude complex areas (Figure 3) being a transition area for savannah biome deserving special conservation efforts. Unfortunately, Brazil still faces major obstacles in the implementation and management of its protected areas with many examples of conservation areas existing largely on paper (Falkenberg & Voltolini, 1995; Aldrich, *et al.*, 1997; Safford, 1999a; Lima *et al.*, 2005). Most of the Conservation Area of Full Protection in the Minas Gerais state demonstrates unsatisfying management effectiveness showing problems as: areas that aren't expropriated or indemnified, no employee, lack of infrastructure, receive no financial resources for their management, no protection program or fire control program, and there isn't management plan

(Lima *et al.*, 2005). This reality can also be highlighted for the Rio de Janeiro, São Paulo and Mato Grosso states (Lima *et al.*, 2005). Perhaps the biggest challenge relates to the competition of government institutions in an environment of conflicting political interests (Rylands & Brandon, 2005). Thus, the act of protected areas creation in Brazil became marketing of politicians and not the result of planning and aspiration from an organized society and research institutions. (Lima *et al.*, 2005). Given the highly fractured nature of the Atlantic Forest in general (Ribeiro *et al.*, 2009), the linking of the remaining larger blocks of (cloud) forest in the Serra de Mantiqueira should receive priority.

Although the spatial variation in biodiversity of different types of cloud forest in south-eastern Brazil is still comparatively poorly known at the smaller, local scale (e.g., Carvalho *et al.*, 2000; França & Stehmann 2004; Oliveira-Filho *et al.*, 2004; Meireles *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2011; Valente *et al.*, 2011; Pompeu *et al.*, 2014); the present study has demonstrated the usefulness of mapping montane cloud forest extent. Further work is necessary to identify the areas with the highest overall biodiversity (as well as the areas exhibiting the most favourable water balance in the Serra da Mantiqueira; cf. Mulligan & Burke, 2005). The size of the area predicted to be under cloud forest in the area reinforces the conservation priority for important parts of the mountain range, where currently only 21% of the cloud forest falls into a strictly protected category within the Atlantic Forest biome that is already so threatened (Ribeiro *et al.*, 2009; cf. Myers *et al.*, 2000). In particular, the creation of a large and continuous block of protected forest under the envisaged Altos da Mantiqueira National Park in the high, central part of the Serra, as well as affording some form of effective protection to the Serra de Carrancas (Figure 4) assume special importance. Additional studies of the biodiversity from different types of Brazilian cloud forests remain a necessity to further underpin the development of a sound public policy for the protection of these fragile forests and associated

montane ecosystems such as the high altitude complex (cf. Martinelli, 2007). Last, but not least, the rate of forest loss in Atlantic Forest is still high, approaching 490 km² per year (Fundação SOS Mata Atlântica and INPE, 2014) whether we consider that the most existing forest remaining are located in the mountains, at this high rate forest loss the cloud forests may disappear in a few years. Aggravated with the threat of the change in the forestry code and coffee production in few years the cloud forests may no longer exist by a combination of human disturbance and climate change.

5 REFERENCES

- Aldrich, M., Billington, C., Edwards, M. & Laidlaw, R. (1997) *A Global Directory of Tropical Montane Cloud Forests*. World Conservation Monitoring Centre, UNEP- WCMC, Cambridge.
- Allouche, O., Tsoar, A. & Kadmon, R. (2006) Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, **43**, 1223–1232.
- Almeida, F.F.M. de. & Carneiro, C.D.R. (1998) Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**,135-150.
- Alvarado-Barrientos, M.S., Holwerda, F., Asbjornsen, H., Dawson, T.E. & Bruijnzeel, L.A. (2014) Suppression of transpiration due to cloud immersion in a seasonally dry Mexican weeping pine plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, **186**, 12–25.
- Assad, E.D., Pinto, H.S., Zullo JR, J. & Avila, A.M.H. (2004) Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **39**, 1057-1064.
- Backes, A. (2009) Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático. *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável* (ed. by C.R. Fonseca, A.F. Souza, A.M. Leal-

- Zanchet, T.L. Dutra, A. Backes and G. Ganade), pp. 39–44. Holos, Ribeirão Preto.
- Barradas, V.L., Cervantes-Pérez, J., Ramos-Palacios, R., Puchet-annyul, C., Vázquez-Rodríguez, P. & Granados-Ramirez, R. (2010) Meso-scale climate change in the central mountain region of Veracruz State, Mexico. *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management* (ed. by L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 549–556. Cambridge University Press, Cambridge.
- Becker, G., Rodriguez, D. & Zamudio, K.R. (2013) The Brazilian Adirondacks? *Science*, **340**, 428.
- Benites, V.M., Schaefer, C.E.G.R., Mendonça, E.S. & Martin Neto, L. (2001) Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. *Revista Brasileira de Ciências de Solo*, **25**, 661-674.
- Benites, V.M., Schaeffer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., & Santos, H.G. (2007) Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira Botânica*, **30**, 569-577.
- Bertoncello, R., Yamamoto, K. Meireles, L.D. & Sheperd, G.J (2011) A phytogeographic analysis of cloud forests and other forest subtypes amidst the Atlantic forests in south and southeast Brazil. *Biodiversity Conservation*, **20**, 3413 - 3433.
- Brasil (2014 a). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Available at: <http://www.icmbio.gov.br/portal/comunicacao/noticias/20-geral/3377-parque-nacional-do-itatiaia-registra-queda-de-neve.html> (accessed 20 March 2014).
- Brasil (2014 b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil em relevo. Available at: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/> (accessed 20 November 2014).

- Brasil (2014 c). Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Available at: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados> (accessed 13 April 2014).
- Bruijnzeel, L. A., Kapelle, M., Mulligan, M. & Scatena, F.N. (2010) Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management* (ed. by L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 691–740. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bruijnzeel, L.A., Mulligan, M. & Scatena, F.N. (2011) Hydrometeorology of tropical montane cloud forests : emerging patterns. *Hydrological Processes*, **25**, 465–498.
- Bruijnzeel, L.A., Waterloo, J.M., Proctor, J., Kuiters, A.T. & Kotterink, B. (1993) Hydrological observations in montane rain forests on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebungeffect". *Journal of Ecology*, **81**, 145-167.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. & Sayer, J. (2004) *Cloud Forest Agenda*. UNEP WCMC, Cambridge. Available at: http://www.unepwcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.htm (Accessed 8 October 2011).
- Carnaval, A.C. & Moritz, C. (2008) Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography*, **35**, 1187–1201.
- Carvalho, L.M.T., Fontes, M.A.L. & Oliveira-Filho, A.T. (2000) Tree species distribution in canopy gaps and mature forest in an area of cloud forest of the Ibitipoca Range, southeastern Brazil. *Plant Ecology*, **149**, 9 – 22.
- Costa, M.P., Pereira, J.A.A., Melo, P.H.A., Pífano, D.S., Pellicciottii, A.S., Pompeu, P.V. & Silva, R.A. (2011) Estrutura e diversidade da comunidade

- arbórea de uma floresta superomontana, no planalto de Poços de Caldas (MG). *Ciência Florestal*, **21**, 711–725.
- Doumenge, C., Gilmour, D.A., Ruiz-Perez, M. & Blockhus, J. (1995) Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. *Tropical Montane Cloud Forests* (ed. by L.S. Hamilton, O. Juvik and F.N. Scatena), pp. 24–37. Springer-Verlag, New York.
- eCognition (2009) Userguide8. DefiniensImaging. München, Germany, 2009. 236 p.
- Falkenberg, D.B. & Voltolini, J.C. (1995) The montane cloud forest in Southern Brazil. *Tropical Montane Cloud Forests* (ed. by L.S. Hamilton, O. Juvik and F.N. Scatena), pp. 138-149. Springer-Verlag, New York.
- Florenzano, T.G. (2011). *Iniciação em sensoriamento remoto*. Oficina de textos, São Paulo.
- França, G. S. & Stehmann, J. R. (2004) Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta altimontana no município de Camanducaia, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, **27**, 19-30.
- Franklin, J. (2013) Species distribution models in conservation biogeography: developments and challenges.. *Diversity Distributions*, **19**, 1217–1223.
- Fundação SOS Mata Atlântica; INPE. (1998) Atlas da evolução dos remanescentes florestais da Mata Atlântica no período de 1990-1995. São Paulo.
- Fundação SOS Mata Atlântica; INPE. (2014) Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica no período de 2012-2013. São Paulo.
- García-García, F. & Zarraluqui, V. (2008) A fog climatology for Mexico. *Die Erde* **139**, 45–60.
- Hemp, A. (2010) Altitudinal zonation and diversity patterns in the forests of Mount Kilimanjaro, Tanzania. *Tropical Montane Cloud Forests. Science for*

- Conservation and Management* (ed. by L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 134-141. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**, 1965-1978.
- Holwerda, F., Bruijnzeel, L.A., Muñoz-de Villers, L.E., Equihua, M. & Asbjornsen, H. (2010) Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, **384**, 84–96.
- Homeier, J., Werner, F.A., Breckle, S.W., Gradstein, S.R. & Richter, M. (2008) Potential vegetation and floristic composition of Andean forests in south Ecuador, with a focus on the RSBF. *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador* (ed. by E. Beck, J. Bendix, I. Kottke, F. Makeschin and R. Mosandl) pp. 87-100. Springer-Verlag, New York.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2014) Available at: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm (accessed 10 September 2014).
- Instituto Oikos de Agroecologia (2009) Parque Nacional Altos da Mantiqueira, Proposta de Criação. Available at: http://pib.socioambiental.org/anexos/7308_20091208_100637.pdf (accessed 5 September 2013).
- Jarvis, A. & Mulligan, M. (2011) The climate of tropical montane cloud forests. *Hydrological Processes*, **25**, 327–343.
- Kriticos, D.J., Webber, B.L., Leriche, A., Ota, N., Macadam, I., Bathols, J. & Scott, J.K. (2012) CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 53-64.

- Lawton, R.O. & Dryer, V. (1980) The vegetation of the Monteverde Cloud Forest Preserve. *Brenesia*, **18**, 101–116.
- Le-Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T. M., Bertzky, B., Butchart, S.H.M., Stuart, S.N., Badman, T. & Rodrigues, A.S.L. (2013) Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science*, **342**, 803-805.
- Lima, G. S., Ribeiro, G. A. & Gonçalves, W. (2005) Avaliação da Efetividade de Manejo das Unidades de Conservação de Proteção Integral em Minas Gerais. *Revista Árvore*, **29**, 647-653.
- Lima, L.P.Z., Louzada, J., Carvalho, L.M.T. de. & Scolforo, J.R.S. (2011) Análise da vulnerabilidade natural para implantação de unidades de conservação na microrregião da serra de Carrancas, MG. *Cerne*, **17**, 151-159.
- Lobo, J.M. & Tognelli, M.F. (2011) Exploring the effects of quantity and location of pseudo-absences and sampling biases on the performance of distribution models with limited point occurrence data. *Journal for Nature Conservation*, **19**, 1–7.
- Martinelli, G. (2007) Mountain biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira Botânica*, **30**, 587-597.
- Meireles, L. D., Shepherd, G. J. & Kinoshita, L. S. (2008) Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, **31**, 559-574.
- Metz, C.E. 1986. ROC methodology in radiologic imaging. *Investigational Radiology*, **21**, 720-733.
- Meyer, J.Y. (2010) Montane cloud forests on remote islands of Oceania: the example of French Polynesia (South Pacific Ocean). *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management* (ed. by L.A. Bruijnzeel,

- F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 121-129. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mulligan, M. & Burke, S.M. (2005) Global cloud forests and environmental change in a hydrological context. Available at: <http://www.ambiotek.com/cloudforests> (accessed 10 April, 2014).
- Mulligan, M. 2010. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management* (ed. by L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 14-38. Cambridge University Press, Cambridge.
- Muñoz-de Villers, L.E., Holwerda, F., Gómez-Cárdenas, M., Equihua, M., Asbjornsen, H., Bruijnzeel, L.A., Marín-Castro, B.E. & Tobón, C. (2012) Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, **462–463**, 53–66.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**, 853–858.
- Nadkarni, N.M. & Solano, R. (2002) Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia*, **131**, 580–584.
- Nair, U.S., Lawton, R.O., Welch, R.M. & Pielke Sr, R.A. (2003) Impact of land use on tropical montane cloud forests: sensitivity of cumulus cloud field characteristics to lowland deforestation. *Journal of Geophysical Research*, **108**, 4206–4218.
- Navulur, K. (2006) *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC Press, Boca Raton.
- Oliveira-Filho, A. T. & Fontes, M.A.L. (2000) Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. *Biotropica*, **32**, 793-810.

- Oliveira-Filho, A. T., Carvalho, D.A., Fontes, M.A.L, Van Den Berg, E., Curi, N. & Carvalho, W.A.C. (2004) Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. *Revista Brasileira Botânica*, **27**, 291-309.
- Pelissari, G. & Romaniuc Neto, S. (2013) *Ficus* (Moraceae) da Serra da Mantiqueira, Brasil. *Rodriguésia*, **64**, 091-111.
- Phillips, S. J. & Dudík, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, **31**, 161–175.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, **190**, 231–259.
- Pils, H. & Strobl, J. (2007) Análise de Impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. *Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores*. (ed. By T. Blaschke & H. Kux), pp. 162-171. Oficina de textos, São Paulo.
- Pompeu, P.V., Fontes, M.A. L., dos Santos, R.M., Garcia, P.O., Batista, T.A., Carvalho, W.A.C. & de Oliveira Filho, A.T. (2014) Floristic composition and structure of an upper montane cloud forest in the Serra da Mantiqueira Mountain Range of Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, **28**, 456–464.
- Ponce-Reyes, R., Nicholson, E., Baxter, P.W. J., Fuller, R.A., Possingham, H. (2013) Extinction risk in cloud forest fragments under climate change and habitat loss. *Diversity Distributions*, **19**, 518–529.
- Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V.-H., Watson, J.E.M., VanDerWal, J., Fuller, R.A., Pressey, R.L. & Possingham, H.P. (2012) Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change*, **2**, 448–452.

- Pounds, J.A., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., *et al.* (2006) Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**, 161–167.
- Ray, D.K., Nair, U.S., Lawton, R.O., Welch, R.M. & Pielke Sr, R.A. (2006) Impact of land use on Costa Rican tropical montane cloud forests: sensitivity of orographic cloud formation to deforestation in the plains. *Journal of Geophysical Research*, **111**, 1-16.
- Ribeiro, K.T. & Freitas, L. (2010) Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude. *Biota Neotropica*, **10**, 239-246.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J. & Hirota, M.M. (2009) The Brazilian Atlantic forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biology and Conservation*, **142**, 1141–1153.
- Rylands, A.B. & Brandon, K. (2005) Unidades de conservação brasileiras. *Megadiversidade*, **1**, 27-35.
- Sá Júnior, A.; Gonsaga, L.C.; Silva, F.F.; Alves, M.C. (2012) Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, **108**, 1-7.
- Safford, H.F.de. (1999 a) Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the *campos de altitude*. *Journal of Biogeography*, **26**, 693-712.
- Safford, H.F. de. (1999 b) Brazilian Páramos II. Macro- and mesoclimate of the *campos de altitude* and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography*, **26**, 713–737.
- Scatena, F.N.; Bruijnzeel, L.A.; Bubb, P.; Das, S. 2010. Setting the stage. *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management*

- (ed. by L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena and L.S. Hamilton), pp. 3-13. Cambridge University Press, Cambridge.
- Segadas-Vianna, F. & Dau, L. (1965) Ecology of the Itatiaia Range, Southeastern Brazil. II. Climate and altitudinal climatic zonation. *Arquivos Museu Nacional*, **53**, 31–53.
- StatSoft, Inc. (2013). STATISTICA (data analysis software system), version 12. StatSoft, Inc, Tulsa, United States.
- US Geological Survey (USGS) (2013) Department of the Interior, USGS, Reston, Virginia. Available at: <http://eros.usgs.gov/> (accessed 20 march 2013).
- Valente, A. S.M., Garcia, P.O., Salimena, F.R.G. & Oliveira-Filho, A.T. (2011) Composição, estrutura e similaridade florística da Floresta Atlântica, na Serra Negra, Rio Preto – MG. *Rodriguésia*, **62**, 321-340.
- Van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Waterloo, M.J. & Bruijnzeel, L.A. (2006) Climate is affected more by maritime than by continental land use change: a multiple-scale analysis. *Global and Planetary Change*, **54**, 128–149.
- Van Steenis, C.G.G.J. (1972) *The Mountain Flora of Java*. E.J. Brill, Leiden.
- Vasconcelos, M.F. de. (2011) O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? *Revista Brasileira Botânica*, **34**, 241-246.
- Vázquez-García, J.A. (1995) Cloud forest archipelago: preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. *Tropical Montane Cloud Forests* (ed. by L.S. Hamilton, O. Juvik and F.N. Scatena), pp. 315–332. Springer-Verlag, New York.
- Veblen, T.T.; Armesto, J.J.; Burns, B.R.; Kitzberger, T.; Lara, A.; León, B.; & Young, K.R. (2005) The coniferous forests of South America. *Ecosystems of the World: Coniferous Forests* (ed. by F.A. Anderson), pp.293-317. Elsevier, Amsterdam.

- Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. (1991) *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Weaver, P.L. (1995) The Colorado and dwarf forests of Puerto Rico's Luquillo Mountains. *Tropical Forests: Management and Ecology* (ed. by A.E. Lugo and C. Lowe), pp. 109–141. Springer-Verlag, New York.
- Webster, G.L. (1995) The panorama of Neotropical Cloud Forests. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests* (ed. by S.P. Churchill, H. Balslev, E. Forero and J.L. Luteyn), pp. 53–77. The New York Botanical Garden, New York.
- Williams, S., Bolitho, E. & Fox, S. 2003 Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, **270**, 1887–1893.
- Zhang, Y. & Maxwell, T. (2006). A fuzzy logic approach to supervised segmentation for object-oriented classification. *ASPRS. Annual Conference* Reno, Nevada. May 1-5, 2006.
- Zotz, G. & Bader, M. (2009) Epiphytic plants in a changing world: global change effects on vascular and non-vascular epiphytes. *Progress in Botany*, **70**, 147–170.

Essa é uma versão preliminar, considerando que o conselho editorial da revista poderá sugerir alterações para o mesmo.