

GLEYCE CAMPOS DUTRA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE
FITOFISIONOMIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Curso de Doutorado
em Engenharia Florestal, área de concentração em
Ciências Florestais, para a obtenção do título de
“Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho

Co-orientador

Prof. Dr. Ary Teixeira de Oliveira Filho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Dutra, Gleyce Campos.

Modelagem da distribuição geográfica de fitofisionomias no
Estado de Minas Gerais / Gleyce Campos Dutra. – Lavras : UFLA,
2008.

48 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Luis Marcelo Tavares de Carvalho.

Bibliografia.

1. Modelagem de distribuição de espécies. 2. Maxent. 3. Análise
espacial. 4. Espécies indicadoras. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 581.7

GLEYCE CAMPOS DUTRA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE
FITOFISIONOMIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Curso de Doutorado
em Engenharia Florestal, área de concentração em
Ciências Florestais, para a obtenção do título de
“Doutor”.

Aprovada em 21 de janeiro de 2009

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo – UFLA

Profa. Dra. Luciana Botezelli – UNIFEI

Prof. Dr. Eduardo van den Berg – UFLA

Profa. Dra. Gislene Carvalho de Castro – UFLA

Prof. Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho – UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

*“Vivemos esperando
Dias melhores
Dias de paz, dias a mais,
Dias que não deixaremos
Para trás.”*

(Rogério Flausino – “Dias Melhores”)

Aos meus pais,
Ozéas e Maria das Graças e
a meus irmãos, Cley e Joice.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso e apoio técnico, à CAPES, pela concessão da bolsa, à Fapemig pelo apoio financeiro ao projeto “Modelagem Espacial da Ocorrência de Espécies Arbóreas, da Distribuição de Fitofisionomias e dos Limites dos Biomas de Minas: Uma Análise Fitogeográfica usando Sensoriamento Remoto e SIG”.

Ao professor Luis Marcelo Tavares de Carvalho (Passarinho) e Ary Teixeira de Oliveira Filho, pela orientação e amizade.

Ao professor Fausto Weimar Acerbi Junior por me ensinar o prazer de ensinar e valorosa amizade.

À minha maravilhosa família (Capigolos), ao Guilherme e ao Leandro, a quem considero como irmãos.

Às amigas Teresinha, Roseane, Chica, Marluce e Gláucia, que foram testemunhas de cada fase de minha vida na UFLA e me apoiaram em cada uma dessas fases.

Aos amigos que me deram suporte nos momentos mais críticos, amigos que foram presentes mesmo com a distância, amigos do TKD, “irmãos de orientador”, colegas de laboratório e de pós-graduação, companheiros de comemoração. Enfim, aos amigos e colegas que fiz durante todo o período em que estive na UFLA e em Lavras, que apesar de ser impossível citar tantos nomes, isso em nada diminui a sua importância.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais, pelo carinho com que sempre me receberam.

A todos que, de alguma forma, participaram desta conquista, o meu...

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Modelagem de dados ambientais	4
2.2 Biogeografia	6
2.3 Modelagem da distribuição geográfica de espécies	7
2.3.1 Maxent	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1 Fragmentos amostrados e área de estudo.....	12
3.2 Classificação dos ambientes	12
3.3 Seleção de espécies indicadoras.....	13
3.4 Variáveis ambientais.....	14
3.5 Predição da distribuição geográfica das espécies	15
3.6 Verificação da acuracidade dos modelos	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÕES	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXO	42

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 1 - Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas	18
TABELA 2 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 2 - Florestas Estacionais Deciduais	20
TABELA 3 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 3 - Cerrado <i>sensu lato</i>	21

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Localização dos fragmentos amostrados em Minas Gerais.....	12
FIGURA 2 Distribuição potencial de Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas em Minas Gerais – Grupo 1	23
FIGURA 3 Distribuição potencial de Florestas Estacionais Deciduais em Minas Gerais – Grupo 2	24
FIGURA 4 Distribuição potencial do Cerrado <i>sensu lato</i> em Minas Gerais – Grupo 3.....	25
FIGURA 5 Combinação das regiões de maior probabilidade de ocorrência dos grupos fitofisionômicos e regiões de transição	26
FIGURA 6 Tipos de vegetação em Minas Gerais.....	28
FIGURA 7 Distribuição dos três Domínios Fitogeográficos de Minas Gerais com base na maior probabilidade de ocorrência dos três principais grupos fitofisionômicos, de acordo com a ordem de importância (a) Grupo 3, Grupo 1 e Grupo 2; (b) Grupo 1, Grupo 3 e Grupo 2.	29
FIGURA 8 Mapa dos Biomas presentes em Minas Gerais.....	30
FIGURA 9 Agrupamento das principais fitofisionomias mapeadas pelo Inventário Florestal de Minas Gerais	31
FIGURA 10 Curva ROC (ROC-plot) para os modelos gerados para o Grupo 1: Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas; Grupo 2: Florestas Estacionais Deciduais e Grupo 3: Cerrado <i>sensu lato</i>	32

RESUMO

DUTRA, Gleyce Campos. **Modelagem da distribuição geográfica de fitofisionomias no Estado de Minas Gerais** 2008. 48p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Este trabalho teve como objetivos: (1) definir um conjunto de espécies arbóreas indicadoras capaz de explicar a ocorrência das principais fitofisionomias presentes no Estado de Minas Gerais; (2) desenvolver modelos de distribuição potencial das espécies indicadoras, na tentativa de prever a extensão de ocorrência de fitofisionomias no Estado de Minas Gerais e (3) avaliar a precisão do modelo gerado para cada grupo fitofisionômico. Foram definidos 3 grupos fitofisionômicos: (a) Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas, (b) Florestas Estacionais Deciduais e (c) Cerrado *sensu lato*. As espécies indicadoras foram selecionadas por meio da Análise de Espécies Indicadoras (ISA). Cada espécie foi modelada pelo algoritmo Maxent, utilizando variáveis abióticas, e seus modelos foram combinados para compor a distribuição do grupo ao qual pertencem. Análises espaciais foram realizadas, em um ambiente SIG, visando a compor um único mapa contendo a informação da distribuição dos grupos. Os resultados permitiram concluir que foi possível definir espécies indicadoras para cada um dos grupos fitofisionômicos no estado de Minas Gerais com alta significância estatística, que geraram modelos de distribuição geográficas para os três grupos, com precisão satisfatória. A combinação da distribuição dos três modelos, em um único mapa, delimitou regiões de transição entre estes e suas áreas nucleares. A comparação da distribuição potencial de fitofisionomias em Minas Gerais com outros trabalhos realizados para o Estado demonstrou que a metodologia proposta por este trabalho possui uma boa capacidade de generalização, sendo uma ferramenta útil para o planejamento ambiental.

Palavras-chave: Modelagem de distribuição de espécies, Maxent, análise espacial, espécies indicadoras.

* Comitê orientador: Luis Marcelo Tavares de Carvalho – UFLA (orientador); - Ary Teixeira de Oliveira Filho – UFMG (co-orientador).

ABSTRACT

DUTRA, Gleyce Campos. **Geographic distribution modeling of vegetation physiognomies in Minas Gerais, Brazil.** 2008. 48p. Thesis (Doctorate in Forestry Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

This work aimed at: (1) defining a group of indicator tree species capable of explaining the occurrence of the main vegetation physiognomies in the State of Minas Gerais, Brazil; (2) developing models of potential distribution of the indicator species, aiming at predicting the geographical distribution of the vegetation physiognomies and (3) assessing the accuracy of the model generated for each group of vegetation physiognomy. Three of those groups were defined: (a) Rain Forests and Seasonal Semideciduous Forests, (b) Seasonal Deciduous Forests and (c) Cerrado (Tropical Woody Savanna). The species were selected through Indicator Species Analysis (ISA) and each species was modeled by the Maxent algorithm, using abiotic variables, and the models were combined to compose the distribution of the group to which the tree species belong. Space analyses were accomplished, in a SIG ambient, seeking to compose a single map containing the information on the distribution of the groups. The results allowed to conclude that it was possible to define indicator species for each of the three main vegetation physiognomies of Minas Gerais with high statistical significance, and that they generated geographical distribution models for vegetation physiognomies, with a satisfactory accuracy. The combination of the distribution of the three models into a single map, showed both transition areas between vegetation physiognomies and their core occurrence areas. A comparison of the present potential distribution model with other studies demonstrated that the methodology proposed here is a powerful and useful tool that can be generalized elsewhere.

Keywords: Species distribution modeling, Maxent, spatial analyze, indicator species.

* Advising Committee: Luis Marcelo Tavares de Carvalho – UFLA (adviser); Ary Teixeira de Oliveira Filho - UFMG (co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

Os avanços da civilização moderna têm contribuído para mudanças no meio-ambiente e nas relações entre os seres vivos. No entanto, proteger a diversidade biológica das alterações causadas pelo aumento acelerado das atividades humanas é uma tarefa complexa, pois envolve tanto a tomada de decisão baseada em conhecimentos deficientes, quanto a busca de conciliação entre a necessidade de proteção ambiental e a crescente demanda das sociedades humanas pelo uso de recursos naturais (Figueiredo et al., 2006).

Entender em quais regiões uma espécie ou um grupo de espécies pode potencialmente se estabelecer e, assim, comparar esse potencial com sua distribuição espacial real é requisito essencial para dar bases às políticas de conservação e ao planejamento de estratégias de recuperação de diversas áreas. Uma forma de análise que vem se destacando e possibilita esse tipo de comparação é a utilização da modelagem preditiva da distribuição de espécies. O processo de modelagem espacial consiste em converter dados primários de registro de espécies em mapas de distribuição geográfica (Siqueira & Peterson, 2003). Estes mapas indicam a provável presença ou ausência da espécie, em função de variáveis ambientais relevantes.

A maior parte das espécies de plantas tropicais ainda não é bem caracterizada em relação a sua distribuição geográfica (Siqueira & Peterson, 2003). Em geral, são poucas as espécies para as quais há informações disponíveis para trabalhar grandes extensões geográficas, como o estado de Minas Gerais, que possui área de 586.528,293 km², onde diferentes formas de relevo associadas às especificidades de solo e clima, propiciaram paisagens muito variadas, recobertas por vegetações características, adaptadas a cada um

dos inúmeros ambientes particulares inseridos no domínio de três biomas brasileiros: o Cerrado, a Mata Atlântica e a Caatinga (Drummond et al., 2005).

A modelagem de distribuição de espécies pode auxiliar o entendimento dos padrões de distribuição de um domínio fitogeográfico ou dos principais grupos fitofisionômicos em uma análise regional da dimensão do Estado de Minas Gerais. Com o auxílio desta abordagem é possível explorar de forma alternativa os dados de biodiversidade para o reconhecimento e classificação desses padrões vegetacionais.

Dentre os levantamentos florísticos realizados pelo Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, o realizado projeto “Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais” (Carvalho & Scolforo, 2008), se destaca pela amostragem de 169 fragmentos por todo o Estado de Minas Gerais. Em 2008, esses dados foram anexados ao banco de dados TreeAtlan 1.0 (Oliveira-Filho, 2008), onde, juntamente com vários levantamentos realizados por diversos pesquisadores, representa fonte preciosa de informações sobre a flora de Minas Gerais. Contudo, essas informações são localizadas, refletindo a situação dos fragmentos amostrados. Sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias capazes de espacializar essas informações pontuais visando subsidiar novas análises e tomadas de decisão.

O objetivo geral deste trabalho foi modelar a distribuição potencial dos principais grupos fitofisionômicos do estado de Minas Gerais a partir de informações pontuais fornecidas por diversos levantamentos fitossociológicos, com o intuito de auxiliar programas de manejo e conservação de espécies e oferecer suporte a programas de recuperação de áreas degradadas.

Os objetivos específicos foram:

- Definir um conjunto de espécies arbóreas indicadoras capaz de explicar a ocorrência de determinada fitofisionomia;

- Desenvolver um modelo de distribuição potencial das espécies indicadoras, visando prever a extensão de ocorrência das principais fitofisionomias no estado de Minas Gerais;
- Avaliar a precisão do modelo gerado para cada grupo fitofisionômico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Modelagem de dados ambientais

O conceito de modelo refere-se a uma representação esquemática e simplificada da realidade de maneira que esta se torne mais compreensível e, mesmo longe de propor uma representação exata, se ajustam às necessidades de estudo do investigador. Modelos ambientais simulam o funcionamento de processos ambientais e podem ser extrapolados através do tempo e do espaço a fim realizar prognóstico e predições de processos ou fenômenos observados na realidade, apesar de não corresponderem perfeitamente à realidade (Skidmore, 2001).

Os modelos desenvolvidos em modelagem ambiental têm utilizado informações provenientes de múltiplas fontes, principalmente relacionadas com topografia, geologia, imagens históricas, cobertura do solo e imagem de sensores variados. A principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, de modo a fazer previsões por meio de modelos empíricos (Skidmore, 2001).

Fielding (1999) aponta que a análise de sistemas ecológicos é raramente simples e direta. Muitos dos dados coletados para realização de análises clássicas exibem uma variedade de problemas incluindo distribuição de frequências incomuns, multicolinearidade, dependências espaciais, entre outros. O autor acrescenta ainda que o tamanho do conjunto de dados é outro problema comum; muitos destes conjuntos são grandes e alguns estão em contínua expansão como, por exemplo, em trabalhos de monitoramento. O problema associado com o número de variáveis provavelmente se torna mais severo à medida que os dados de biodiversidade são acumulados com o aumento do uso de dados de sensoriamento remoto. Uma alternativa para este tipo de problema é

sair da inferência estatística e concentrar os esforços no entendimento dos dados, com a utilização de algoritmos de aprendizagem de máquinas.

A maioria dos trabalhos com aprendizagem de máquina preocupa-se com a identificação e a estruturação de padrões dentro de conjunto de dados, extraindo conhecimento em grandes bases de dados, permitindo ao usuário explorar e inferir informações úteis a partir dos resultados (Fielding, 1999). Também apresenta a vantagem de não depender de suposições sobre a distribuição dos valores dos atributos ou da independência dos mesmos (Clarke & Bittencourt, 2003; Curotto & Ebecken, 2000).

A existência de dados de biodiversidade provenientes de diferentes campos do conhecimento e a forte demanda para integrar, sintetizar e visualizar estas informações para diferentes propósitos e por diferentes usuários, leva ao desenvolvimento de um novo campo de pesquisa que pode ser chamado de informática da biodiversidade (Canhos et al., 2004). Este campo emergente representa a conjunção do uso eficiente da informação sobre a biodiversidade com novas ferramentas para sua análise e entendimento. A tendência ao acesso livre aos dados de pesquisa e novos programas de código aberto (software livre) estão conduzindo a uma nova era de serviços de internet e de estrutura computacional para análise espacial da biodiversidade, trazendo novas oportunidades e dimensões para recentes abordagens na análise ecológica, modelagem preditiva, síntese e visualização de informação da biodiversidade.

As técnicas de mapeamento e a manipulação de dados geográficos são muito importantes para o estudo de fenômenos da natureza e para o gerenciamento de recursos naturais. Particularmente nos estudos aplicados à conservação da biodiversidade, tais técnicas são importantes tanto para o mapeamento de áreas protegidas existentes, quanto para o prognóstico de cenários críticos ou favoráveis ao desenvolvimento de animais e plantas (Canhos et al., 2004). Assim, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e

sensoriamento remoto têm sido combinados com modelos ambientais para várias aplicações (Skidmore, 2001). As bases de dados do SIG são usadas para refinar a extração de informações relevantes das imagens de sensoriamento remoto, enquanto dados de sensoriamento remoto fornecem imagens periódicas de características geométricas e temáticas dos objetos da superfície terrestre, aumentando sua capacidade de detectar mudanças e atualizar as bases de dados do SIG (Janssen, 1993).

2.2 Biogeografia

A Biogeografia é a ciência que estuda a distribuição geográfica dos seres vivos, procurando entender padrões de organização espacial e os processos que resultaram em tais padrões (Brow & Lomolino, 2006). Os diversos fatores determinantes destas distribuições são inter-relacionados de maneira a interagirem e seu estudo envolve uma variedade de abordagens metodológicas e uma gama de disciplinas científicas. É uma ciência multidisciplinar que relaciona informações de diversas outras ciências como geografia, biologia, climatologia, geologia, ecologia e evolução (Figueiredo et al., 2006).

Essa ciência se tornou marcante em suas contribuições para o avanço da teoria evolutiva e para a compreensão dos processos que definem o surgimento e a extinção das espécies, tornando-se uma ferramenta fundamental para subsidiar decisões práticas que visam à mitigação dos atuais processos de extinção da biodiversidade. Entre os objetivos que propõe esta ciência se encontram o estudo das dimensões e a forma das áreas de distribuição dos diferentes táxons e a modelagem dessas áreas mediante a criação de sistemas hierárquicos segundo o grau de afinidade entre estes (Figueiredo et al., 2006).

Fitogeografia é o ramo da biogeografia que estuda a distribuição vegetal pelo planeta. Trata da localização geográfica de elementos de vegetação, desde grandes formações vegetais até a área natural de ocorrência de uma determinada

espécie, tentando compreender os diferentes padrões de distribuição das plantas (Durigan, 2003). Existem várias classificações de formações vegetais brasileiras que trazem diferença na denominação e na abrangência geográfica dessas formações, como por exemplo: Veloso et al. (1991), Romariz (1996), Rizzini (1997), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2004), Ab'Sáber (2003), Fernandes (2006). Em Minas Gerais, destaca-se o mapeamento realizado por Golfari (1975) que inclui mapas de regiões bioclimáticas e de vegetação do Estado.

Entretanto, Durigan (2003) explica que o enquadramento de uma área de estudo é feito com facilidade em áreas representativas das diferentes formações. Em algumas regiões, no entanto, onde há transição entre formações ou entre associações, o mapeamento pode ser mais difícil. A diferenciação se faz, nesses casos, com o auxílio de resultados de pesquisa sobre a flora local ou com a presença de espécies indicadoras. Segundo Dufrêne & Legendre (1997) a identificação de espécies indicadoras ou características é uma atividade comum em ecologia e biogeografia. Estudos baseados em trabalhos de campo como o realizado por Oliveira-Filho & Fontes (2000), Oliveira-Filho et al. (2006), Ratter et al. (2006), Almeida & Machado (2007), descrevem sítios ou habitats, geralmente definindo uma ou mais espécies caracterizando cada habitat.

Vários métodos biogeográficos podem ser utilizados para auxiliar o processo de planejamento de conservação, como, por exemplo, a estimativa da distribuição geográfica de uma espécie, identificação de lacunas em sistemas de unidades de conservação, identificação de áreas de endemismo e identificação de padrões de diferenciação intra-específicos (Figueiredo et al., 2006).

2.3 Modelagem da distribuição geográfica de espécies

A informação básica para o estudo da biogeografia é a distribuição geográfica da espécie. Gaston (1991, 1994) reconhece dois eventos associados

ao termo distribuição geográfica: área de ocupação e extensão de ocorrência. A área de ocupação de uma espécie é um conjunto de localidades onde ela foi registrada, seja mediante a coleta de espécimes ou de observações. Em contraste, a extensão de ocorrência é uma predição sobre a área potencial de ocorrência da espécie. De modo geral, a informação sobre a extensão de ocorrência torna-se muito útil, uma vez que delimita regiões onde a espécie pode ser encontrada.

A distribuição geográfica de cada espécie na superfície, seja de microorganismos, vegetais ou animais é determinada por uma série de parâmetros do ambiente, que incluem temperatura, quantidade de luz, umidade, espécies competidoras, efeito do fogo e outros (Begon et al., 1981). Somente são encontrados indivíduos de uma dada espécie em locais que oferecem as condições necessárias e recursos suficientes para a sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Combinações das variáveis ambientais associadas com a presença observada da espécie podem ser identificadas e projetadas num espaço geográfico, gerando um mapa de aptidão positiva (Soberón & Peterson, 2005). Estas regiões são ecologicamente similares àquelas onde as espécies ocorrem realmente, considerando as variáveis utilizadas para gerar o modelo.

Partindo desse princípio, a maior parte destes modelos trabalha com o conceito de nicho ecológico fundamental da espécie (Hutchinson, 1957; Begon et al., 1981). O conceito de nicho refere-se ao conjunto de recursos do ambiente com os quais a espécie interage para sobreviver e se reproduzir. Quando uma espécie torna-se livre de interações bióticas, como por exemplo a competição com outra espécie, para ocupar todo o intervalo de cada variável ambiental ao qual ela está adaptada, tem-se a definição do nicho fundamental. Entretanto, as interações bióticas restringem a espécie a uma porção do nicho fundamental que pode ser efetivamente ocupado denominado nicho real. Desta forma, o nicho é um hipervolume n-dimensional, delimitado em um espaço de atributos,

representado por variáveis ambientais, é mensurável, matematicamente tratável e pode ser reduzido a um hipervolume menor, realmente ocupado (nicho real).

O nicho de uma espécie pode ser estimado de duas maneiras segundo Soberón & Peterson (2005). A primeira é a medida direta ou modelagem física de respostas de indivíduos para temperatura, precipitação, e outros parâmetros físicos, e deduzindo deles o valor de aptidão de diferentes combinações de variáveis físicas (ex. Análise de Correspondência Canônica – CCA e Análise de Correspondência Retificada – DCA). Esta linha de pesquisa foi chamada de abordagem mecanicista para modelagem do nicho ecológico (Guisan & Zimmermann, 2000). Na segunda forma, os nichos podem ser modelados relacionando dados de ocorrência de espécies com um conjunto de dados que resumem dimensões ecológicas, ou seja, combinações de variáveis ambientais, a maioria associadas com presença observada das espécies. A próxima etapa é aplicar o modelo de volta ao espaço geográfico, indicando as regiões onde a espécie está provavelmente presente ou ausente, na forma de um mapa de distribuição potencial da espécie. Estas áreas são ecologicamente similares àquelas onde as espécies ocorrem realmente e este procedimento pode ser denominado abordagem correlativa para modelagem do nicho ecológico (Soberón & Peterson, 2005).

Os algoritmos, utilizados nesse segundo tipo de modelo, tentam estabelecer relações não-aleatórias entre os dados de ocorrência com dados variáveis ambientais relevantes para a espécie (tais como, temperatura, geologia, relevo, tipo de solo, precipitação, entre outras). Esse tipo de análise pode ser realizada usando diversos algoritmos: Bioclim (Nix, 1986), Domain (Carpenter et al., 1993), regressão múltipla e outros modelos generalizados lineares e aditivos (Guisan & Zimmermann, 2000; Guisan et al., 1999), redes neurais (Pearson et al., 2002), árvores de decisão (Breiman et al., 1984; Quinlan, 1986), algoritmos genéticos (Stockwell, 1999; Stockwell & Peters, 1999; Stockwell &

Noble, 1992), Maxent (Phillips et al, 2006) e outros. A escolha pela utilização de qualquer um dos métodos citados acima pode depender do número observações disponíveis, do tipo de variáveis ambientais, disponibilidade de dados de ausência, propósito para qual o modelo vai ser adotado, preferências pessoais e experiência do usuário. Todos, em sua essência, extrapolam associações entre ponto de ocorrências e conjuntos de dados ambientais para identificar áreas de presença predita pelo mapa.

Ferramentas de modelagem de distribuição de espécies vêm sendo utilizadas em uma variedade de aplicações: compreender padrões de distribuição de ambientes (Carnaval & Moritz, 2008; Siqueira & Durigan, 2007), estudos de espécies raras e ameaçadas de extinção (Martínez-Meyer et al., 2006); desenvolvimento de planos de conservação da biodiversidade (Peterson et al, 1999); efeitos das mudanças climáticas globais nas populações (Pearson & Dawson, 2003; Siqueira & Peterson, 2003, Peterson et al., 2001); combate e prevenção de invasões de espécies (Peterson & Vieglais, 2001) e predição da distribuição potencial de vetores infecciosos de doenças (Peterson et al., 2004).

2.3.1 Maxent

De acordo com Phillips et al. (2006), a máxima entropia (Maxent) é um método para realizar previsões ou inferências a partir de informações incompletas, e vem sendo aplicado recentemente na modelagem de distribuição de espécies. Esse algoritmo é aplicado aos dados de presença, representados pelos pontos de ocorrência conhecida da espécie, que são as amostras. As variáveis ambientais são chamadas de feições.

Na estimativa da distribuição de probabilidade desconhecida, definida como a distribuição espacial da espécie em uma área, o Maxent formaliza o princípio de que a distribuição estimada deve concordar com a que é inferida por meio dos valores das variáveis ambientais nos pontos de ocorrência dessa

espécie. O algoritmo estima a probabilidade de ocorrência da espécie encontrando a distribuição de probabilidade de máxima entropia (mais próxima do uniforme), que é sujeita a um conjunto de restrições, no qual os valores esperados em cada “feição” devem corresponder à suas médias observadas nas amostras (Phillips et al., 2006; Pearson et al., 2007).

O Maxent apresenta, entre outras, as vantagens de se basear somente em dados de presença, de permitir a utilização de dados contínuos e discretos e de incorporar interações entre as diferentes variáveis. Possui, ainda, a vantagem da saída do modelo ser contínua, permitindo uma fina distinção entre os modelos gerados para diferentes áreas (Phillips et al., 2006, Phillips & Dudik, 2008).

Em comparação com outros algoritmos utilizados na previsão da distribuição geográfica de espécies, o Maxent se destacou por apresentar um dos melhores desempenhos (Elith et al., 2006). Porém, Peterson et al. (2007) demonstram que este algoritmo possui uma tendência a subestimar a extensão de ocorrência de espécies.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Fragmentos amostrados e área de estudo

Os pontos de ocorrência e lista de espécies arbóreas das áreas foram recuperados do banco de dados TreeAtlan 1.0 para o Estado de Minas Gerais (Oliveira-Filho, 2008), totalizando 274 áreas e 2307 espécies (Figura 1).

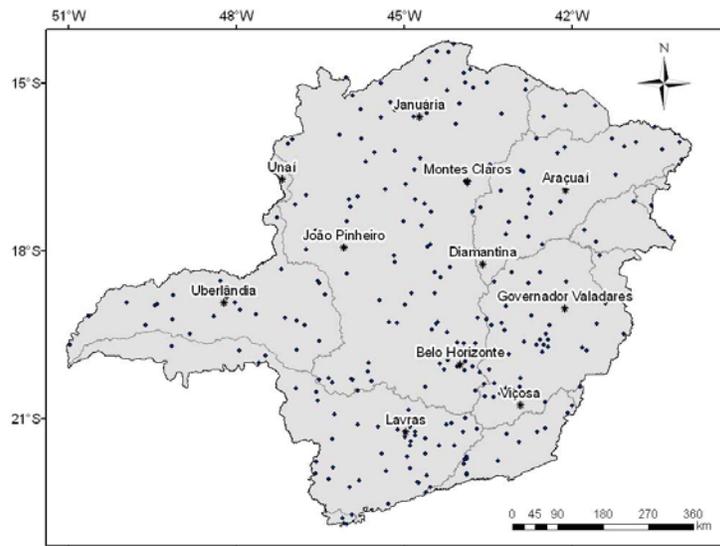


FIGURA 1 Localização dos fragmentos amostrados em Minas Gerais

3.2 Classificação dos ambientes

Uma matriz binária de ocorrência das espécies nos 274 fragmentos foi utilizada para classificá-los em grupos mais genéricos por meio de uma análise de agrupamento utilizando a distância de Sørensen e o método de ligação pela média do grupo. Os fragmentos puderam ser resumidos em três principais grupos fitofisionômicos:

- Grupo 1: composto de fragmentos de Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas presentes em qualquer região do estado de Minas Gerais. Este tipo de agrupamento também foi observado por Oliveira-Filho & Fontes (2000) e Oliveira-Filho et al. (2006), devido às suas similaridades florísticas, no nível de espécies arbóreas, em comparação a outros grandes grupos fitosionômicos.
- Grupo 2: abrange as Florestas Estacionais Decíduais do Domínio da Caatinga e demais regiões de Minas.
- Grupo 3 – Cerrado *sensu lato*: inclui todos os fragmentos pertencentes às fitofisionomias típicas do Cerrado, principalmente representadas pelo Cerrado *sensu stricto* e Cerradão.

3.3 Seleção de espécies indicadoras

As espécies indicadoras de cada fitofisionomia foram selecionadas utilizando a Análise de Espécies Indicadoras (ISA) (Dufrêne & Legendre, 1997), no qual um valor percentual de uma espécie particular é estimado dentro de uma região geográfica particular.

Este método combina informação sobre a concentração da abundância de uma espécie em um determinado grupo de unidades amostrais e a fidelidade da ocorrência desta espécie em certo grupo de amostras. Valores indicativos são calculados para cada espécie dentro de cada grupo, e testados estatisticamente, de forma a diferenciá-los do acaso, pelo teste de Monte Carlo com 1000 repetições no programa PC-ORD (McCune & Mefford, 1999). Para cada um dos grupos obtém-se um valor indicativo para a uma dada espécie baseado na seguinte fórmula (Dufrêne & Legendre, 1997):

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} * B_{ij} * 100,$$

Em que: i = espécie analisada; j = grupo analisado; $IndVal_{ij}$ = valor indicativo da espécie i no grupo j em porcentagem; A_{ij} = abundância média da espécie i no grupo j comparado aos demais grupos ; B_{ij} = frequência relativa de ocorrência da espécie i no grupo j .

Foi escolhido um corte no valor mínimo do $IndVal$ de 50% na tentativa de selecionar espécies realmente peculiares a estes ambientes. A este valor de corte, para uma dada espécie, o menor valor possível encontrado para qualquer uma dessas duas variáveis será de 50%.

3.4 Variáveis ambientais

A seleção das variáveis ambientais utilizadas nos modelos foi realizada por fitofisionomia, baseando-se no teste Jackknife no programa Maxent (Phillips & Dudik, 2008). Este teste estima a significância de uma variável ambiental individualmente na análise da distribuição da espécie e permite selecionar as variáveis com maior ganho na modelagem (Dutra & Carvalho, 2008; Saatchi et al., 2008; Phillips & Dudik, 2008, Philips et al, 2006).

A base de dados consiste em 19 mapas bioclimáticos do WorldClim relacionados à temperatura e à precipitação (Hijmans et al., 2005; Hijmans et al., 2008), dados de elevação (National Aeronautics and Space Administration, NASA, 2000), distância do oceano e litologia (Cury et al., 2008). Na seqüência são indicadas as variáveis selecionadas para cada grupo.

- Grupo 1: isotermalidade (bio3), temperatura média no trimestre mais úmido (bio8), temperatura média no trimestre mais frio (bio11), precipitação anual (bio12), sazonalidade da precipitação (bio15), precipitação no trimestre mais úmido (bio16), precipitação no trimestre mais seco (bio17), precipitação no trimestre mais frio (bio19), altitude e distância do oceano.
- Grupo 2: temperatura média anual (bio1), variação diurna média anual (bio2), isotermalidade (bio3), temperatura média no período mais quente

(bio5), temperatura média no período mais úmido (bio8), temperatura média no trimestre mais frio (bio11), precipitação no período mais seco (bio14), sazonalidade da precipitação (bio15), precipitação no trimestre mais frio (bio19), distância do oceano e litologia.

- Grupo 3: temperatura média anual (bio1), variação diurna média anual (bio2), isotermalidade (bio3), sazonalidade de temperatura (bio4), temperatura média no período mais quente (bio5), temperatura média no trimestre mais frio (bio11), precipitação no período mais úmido (bio13), sazonalidade da precipitação (bio15), precipitação no trimestre mais seco (bio17), distância do oceano e litologia.

Os dados foram reamostrados para uma resolução de 0,0083 graus (aproximadamente 1 km) e foi aplicada uma máscara delimitando o Estado de Minas Gerais.

3.5 Predição da distribuição geográfica das espécies

Os pontos de ocorrência de cada uma das espécies indicadoras selecionadas para cada um dos grupos fitofisionômicos, combinados com suas referidas bases ambientais do Estado de Minas Gerais, foram usados para modelar a distribuição espacial potencial de cada espécie utilizando o algoritmo Maxent (Phillips et al., 2006). Esse algoritmo demonstrou melhores resultados quando comparado a outros métodos de modelagem de distribuição de espécies (Elith et. al, 2006).

Os valores do modelo gerado para cada espécie no programa Maxent variam continuamente entre 0 e 1 de probabilidade de ocorrência. Selecionou-se um limiar de corte de 0,5 nos modelos gerados para cada espécie em cada grupo. Acima desse limiar o pixel na imagem recebeu valor 1 e abaixo deste, o valor 0. Este limiar foi estabelecido visando eliminar incertezas da previsão da distribuição geográfica de cada espécie individualmente. Em seguida, esses

modelos foram somados para compor a distribuição potencial dos grupos fitofisionômicos que as espécies indicam e reclassificados para uma mesma escala de probabilidades.

Os três mapas gerados para cada fitofisionomia foram combinados utilizando a ferramenta “Highest Position” no ArcGIS 9.2 para determinar as áreas preferenciais de cada fitofisionomia em detrimento da outra. Nesta análise, cada pixel do arquivo de saída foi classificado com o nome do grupo que possuía o maior valor de probabilidade entre os três grupos. Operações entre mapas foram realizadas para selecionar as áreas de probabilidade semelhantes entre estes, delimitando assim regiões de transição entre os domínios.

3.6 Verificação da acuracidade dos modelos

A validação dos modelos foi feita testando um conjunto de dados independentes, de acordo com o recomendado por Fielding & Bell (1997). Amostra de formações vegetais presentes em Minas Gerais foi coletada em incursões terrestres realizadas por Brito et al. (2008). Essas formações foram agrupadas pelo mesmo critério utilizado para definir os grupos fitofisionômicos.

Para comparar as áreas estimadas no modelo com aquelas observadas no mesmo ponto pelas amostras de validação por grupo fitofisionômico, foi utilizado o gráfico do receptor-operador (ROC-plot), no qual são representadas as frações dos verdadeiros positivos contra os falsos positivos observados no modelo (Fielding & Bell, 1997). A área sob a curva é tomada como uma medida de acuracidade do modelo e caracteriza o seu desempenho (Phillips et al., 2006; Phillips & Dudik, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 2307 espécies contidas na lista florística do banco de dados, aproximadamente 40% do total de espécies foi enquadrado como indicadoras pelo teste de Monte Carlo ($p < 0,10$): 546 espécies para o grupo 1; 219 espécies para o grupo 2 e 135, para o grupo 3.

Com o valor indicativo (IndVal) até 50%, selecionaram-se 42 espécies para o Grupo 1, 18 para o Grupo 2 e 52 para o Grupo 3, totalizando 112 espécies que tiveram a sua distribuição modelada.

Todas as espécies selecionadas apresentaram valores altamente significativos pelo teste de Monte Carlo ($p < 0,001$), sugerindo que os ambientes são separáveis entre si em termos de composição de espécies e demonstrando a potencialidade da representação de cada uma destas no ambiente o qual indicam. Os valores indicativos (IndVal) em ordem decrescente por grupo considerado são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Segundo Dufrene & Legendre (1997), esse índice é máximo, 100%, quando todos os indivíduos de uma espécie estão presentes em todas as localidades de único grupo e apesar da alta significância dos valores indicativos, nenhuma espécie pode ser considerada como indicadora perfeita do ambiente.

Das espécies selecionadas para o grupo 1 (Tabela 1), cerca de 60% possuem distribuição geográfica ampla em ambientes florestais e, por essa característica, são classificadas como “*supertramp*” de florestas estacionais neotropicais (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Oliveira-Filho et al., 2006), como as espécies que se destacaram com os maiores valores indicativos para este ambiente: *Amaioua intermedia* Mart. ex Schult. & Schult.f., *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. e *Guapira opposita* (Vell.) Reitz. As demais possuem distribuição ampla dentro do Estado de Minas Gerais, principalmente em regiões

de altitudes mais elevadas como, por exemplo, *Psychotria vellosiana* Benth., e *Tapirira obtusa* (Benth.) J.D.Mitch. (Oliveira-Filho et al., 2006).

TABELA 1 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 1 - Florestas Estacionais Semidecíduais e Florestas Ombrófilas

Espécie	IndVal
1. <i>Amaioua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	79
2. <i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	73
3. <i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	73
4. <i>Inga marginata</i> Willd.	70
5. <i>Piptocarpha macropoda</i> Baker	69
6. <i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	68
7. <i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	67
8. <i>Cordia sellowiana</i> Cham.	67
9. <i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	66
10. <i>Sloanea monosperma</i> Vell.	63
11. <i>Miconia latecrenata</i> (DC.) Naudin	63
12. <i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	63
13. <i>Guarea macrophylla</i> Vahl	62
14. <i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	59
15. <i>Cyathea delgadii</i> Sternb.	59
16. <i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	59
17. <i>Cupania vernalis</i> Cambess.	58
18. <i>Psidium rufum</i> DC.	57
19. <i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	57
20. <i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	56
21. <i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.	56
22. <i>Lamanonia ternata</i> Vell.	55
23. <i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	55
24. <i>Myrsine umbellata</i> Mart.	55

Continua...

TABELA 1 Continuação...

Espécie	IndVal
25. <i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	55
26. <i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	55
27. <i>Annona laurifolia</i> (Schltdl.) H.Rainer	55
28. <i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	55
29. <i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	55
30. <i>Vernonanthura divaricata</i> (Spreng.) H.Rob.	54
31. <i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	54
32. <i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	54
33. <i>Croton floribundus</i> Spreng.	54
34. <i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	53
35. <i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	53
36. <i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil.	52
37. <i>Aspidosperma spruceanum</i> Benth. ex Müll.Arg.	51
38. <i>Cyathea phalerata</i> Mart.	51
39. <i>Casearia decandra</i> Jacq.	51
40. <i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.	50
41. <i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	50
42. <i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	50

A maioria das espécies selecionadas para o grupo 2 (Tabela 2) são citadas em literatura como típicas de Caatinga ou de Matas Secas como as espécies *Schinopsis brasiliensis* Engl. e *Annona leptopetala* (R.E.Fr.) H.Rainer (Oliveira-Filho et al., 2006; Oliveira-Filho, 2006). Dentre estas, *Myracrodruon urundeuva* Allemão e *Dilodendron bipinnatum* Radlk são apontadas como espécies calcícolas, ou seja, encontradas também em cerradão mesotrófico e em matas secas no Domínio do Cerrado (Ratter et al., 2006).

Em comparação aos demais grupos, os maiores valores indicativos são encontrados no Grupo 3 (Tabela 3), destacando-se também pelo maior número de espécies indicadoras selecionadas. Isso sugere o quanto esse ambiente é diferenciado por sua composição florística.

TABELA 2 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 2 - Florestas Estacionais Deciduais

Espécies	IndVal
1. <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	74
2. <i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer	69
3. <i>Aspidosperma pyriformium</i> Mart.	66
4. <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	65
5. <i>Aspidosperma cuspa</i> (Kunth) S.F.Blake ex Pittier	62
6. <i>Aralia excelsa</i> (Griseb.) J.Wen	62
7. <i>Cereus jamacaru</i> DC.	61
8. <i>Bauhinia acuruana</i> Moric.	61
9. <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	59
10. <i>Deguelia nitidula</i> (Benth.) Az.-Tozzi	55
11. <i>Combretum duarteanum</i> Cambess.	55
12. <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby	53
13. <i>Ceiba pubiflora</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	53
14. <i>Manihot anomala</i> Pohl	53
15. <i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	52
16. <i>Triplaris gardneriana</i> Weddell	52
17. <i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	51
18. <i>Ptilochaeta bahiensis</i> Turcz.	51

Análises de levantamentos fitossociológicos compilados por Bridgewater et al. (2004) e Ratter et al. (2006) apontam um conjunto de espécies arbóreas comuns, amplamente distribuídas, que dominam a flora do Cerrado *sensu lato*, constituindo um tipo de oligarquia. Todas as espécies selecionadas como indicadoras do grupo 3 são consideradas típicas de áreas do Cerrado, estando presentes na relação de espécies listada pelos autores. As três espécies de pau-terra (*Qualea parviflora* Mart, *Qualea grandiflora* Mart. e *Qualea multiflora* Mart.) são exemplos de espécies pertencentes a essa oligarquia em áreas de Cerrado, listadas pelos autores.

TABELA 3 Relação de espécies e seus valores indicativos (IndVal) no grupo 3 - Cerrado *sensu lato*.

Espécies	IndVal
1. <i>Qualea parviflora</i> Mart.	87
2. <i>Qualea grandiflora</i> Mart.	85
3. <i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	85
4. <i>Connarus suberosus</i> Planch.	83
5. <i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	83
6. <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	80
7. <i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	80
8. <i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	79
9. <i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	79
10. <i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	77
11. <i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	76
12. <i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth. ex Hook.f.	76
13. <i>Vochysia rufa</i> Mart.	75
14. <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.	74
15. <i>Neea theifera</i> Oerst.	73
16. <i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	71
17. <i>Annona coriacea</i> Mart.	70
18. <i>Annona crassiflora</i> Mart.	70
19. <i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.Robyns	70
20. <i>Byrsonima crassa</i> Nied.	68
21. <i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	67
22. <i>Tabebuia aurea</i> (Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	67
23. <i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	67
24. <i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	67
25. <i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	65
26. <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	65

Continua...

TABELA 3 continuação...

Espécies	IndVal
27. <i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	65
28. <i>Hancornia speciosa</i> Gomes	64
29. <i>Tachigali aurea</i> Tul.	64
30. <i>Machaerium opacum</i> Vogel	64
31. <i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	64
32. <i>Eugenia dysenterica</i> DC.	63
33. <i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	62
34. <i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	62
35. <i>Palicourea rigida</i> Kunth	62
36. <i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	61
37. <i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	61
38. <i>Curatella americana</i> L.	61
39. <i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	60
40. <i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	59
41. <i>Zeyheria montana</i> Mart.	59
42. <i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	57
43. <i>Plenckia populnea</i> Reissek	57
44. <i>Hyptidendron canum</i> (Pohl) Harley	56
45. <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	56
46. <i>Himatanthus obovatus</i> (Müll.Arg.) Woodson	54
47. <i>Qualea multiflora</i> Mart.	53
48. <i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	53
49. <i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	52
50. <i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	51
51. <i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	50
52. <i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	50

Na Figura 2 observa-se que a distribuição do grupo 1 é prevista para as regiões leste e sul de Minas Gerais, seguindo para regiões da bacia do alto Paranaíba. Maiores probabilidades de ocorrência são observadas em regiões de maior altitude no sudeste de Minas e margeando a vertente leste da Serra do

Espinhaço. A maior quantidade de fragmentos amostrados na porção meridional do Estado provavelmente fez com que espécies típicas desses locais tivessem maior influência no modelo.

O grupo 2 distribui-se com maior probabilidade no norte do Estado, na bacia do São Francisco, subindo seu vale em direção ao sul e também no vale do Rio Jequitinhonha e principais tributários, associado às altas temperaturas e à baixa precipitação anual (Figura 3).

No vale do Jequitinhonha, apesar de não constar como domínio da Caatinga pelo IBGE (IBGE, 2004), áreas de Florestas Estacionais Deciduais também foram observadas no mapeamento realizado pelo “Inventário e Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos em Minas Gerais” (Carvalho & Scolforo, 2008).

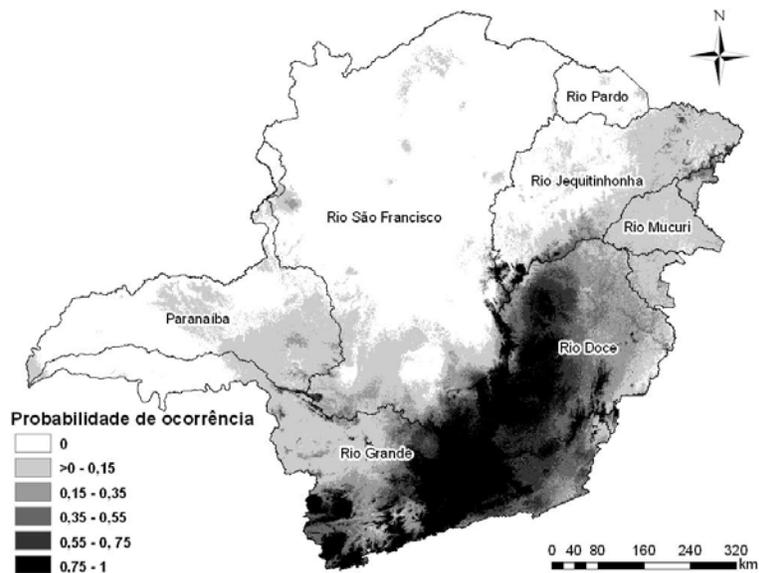


FIGURA 2 Distribuição potencial de Florestas Estacionais Semideciduais e Florestas Ombrófilas em Minas Gerais – Grupo 1

Com menores valores de probabilidades, o modelo ainda prevê a ocorrência de florestas decíduais na região central de Minas, em locais de solo de origem calcária, e em solos de origem basáltica no Triângulo Mineiro. Nesses locais, registros de ocorrências de florestas decíduas são encontrados associados às manchas de solo de melhor fertilidade (Fagundes et al., 2007; Rodrigues & Araújo, 1997). À medida que se avança para o sul, essa fitofisionomia fica condicionada a solos de melhor qualidade, ficando restrita a pequenos encaves dentro de outras fitofisionomias (Prado & Gibbs, 1993; Oliveira-Filho & Ratter, 2002; Oliveira-Filho et al., 1998). Segundo Rizzini (1997), é possível encontrar encaves de Florestas Decíduas (Matas Secas) ao longo das formações de Cerrado, Florestas Estacionais Semidecíduais e no domínio Amazônico.

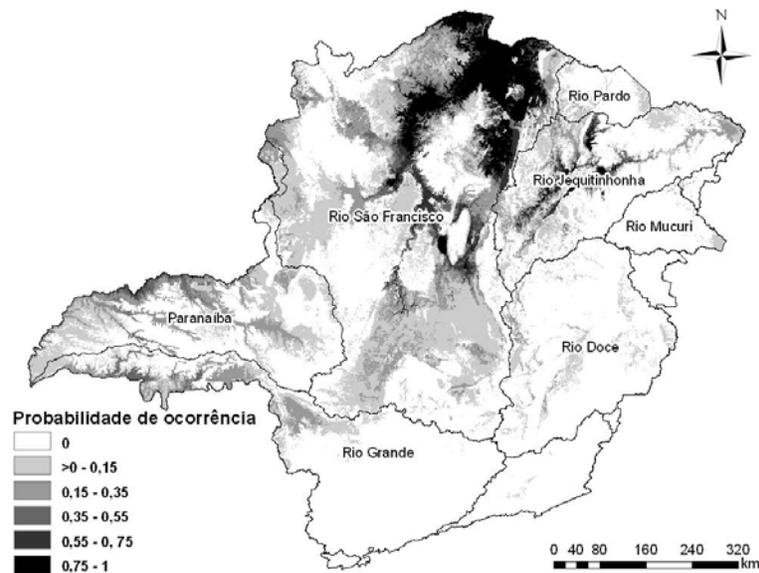


FIGURA 3 Distribuição potencial de Florestas Estacionais Decíduas em Minas Gerais – Grupo 2

A distribuição potencial do grupo 3 (Figura 4) recobre grande parte do Estado, mais precisamente no centro-oeste mineiro, nas regiões da bacia do Rio São Francisco e no Triângulo Mineiro. Principalmente neste último, sua ocorrência é prevista nas regiões de interflúvios, onde predominam solos pobres e topografia mais plana, distantes dos solos de origem basáltica nos vales do Rio Paraíba e do Rio Grande, de acordo com o observado por Oliveira-Filho et al. (1998); Ribeiro & Valter (1998); Oliveira-Filho & Ratter (2002); Ratter et al. (2006).

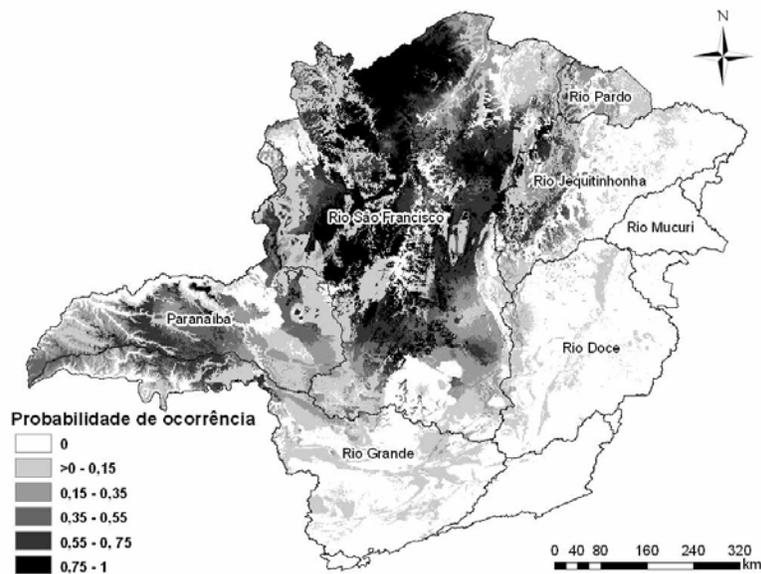


FIGURA 4 Distribuição potencial do Cerrado *sensu lato* em Minas Gerais – Grupo 3

Na Figura 5 observam-se, na composição dos modelos gerados para cada fitofisionomia, regiões onde cada uma foi classificada como preferencial por sua maior probabilidade de ocorrência (áreas nucleares) e também regiões onde houve empates nas probabilidades, definindo quatro classes de transição: Cerrado *sensu lato* x Florestas Estacionais Deciduais x Florestas Estacionais

Semidecíduais/Florestas Ombrófilas; Cerrado *sensu lato* x Florestas Estacionais Decíduais, Cerrado *sensu lato* x Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas; Florestas Estacionais Decíduais x Floresta Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas.

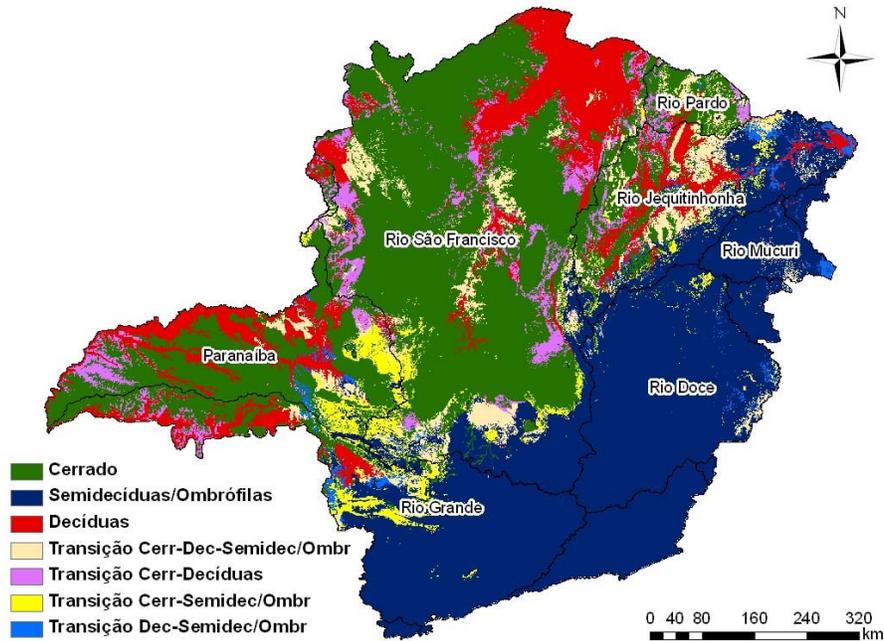


FIGURA 5 Combinação das regiões de maior probabilidade de ocorrência dos grupos fitofisionômicos e regiões de transição

Nota-se que tanto regiões como a bacia do rio Jequitinhonha, como também ao norte e ao sul da Serra da Canastra, devido a suas características ambientais, demonstram serem locais de alta tensão ecológica. A bacia do Jequitinhonha, especialmente, é uma região de grande diversidade climática variando de úmido a semi-árido (Carvalho et al., 2008).

Em áreas do domínio do Cerrado, onde os solos são mais férteis, a vegetação pode incluir florestas decíduas ou semidecíduas (Oliveira-Filho & Ratter, 2002). Áreas de solos de origem basáltica no Triângulo Mineiro são

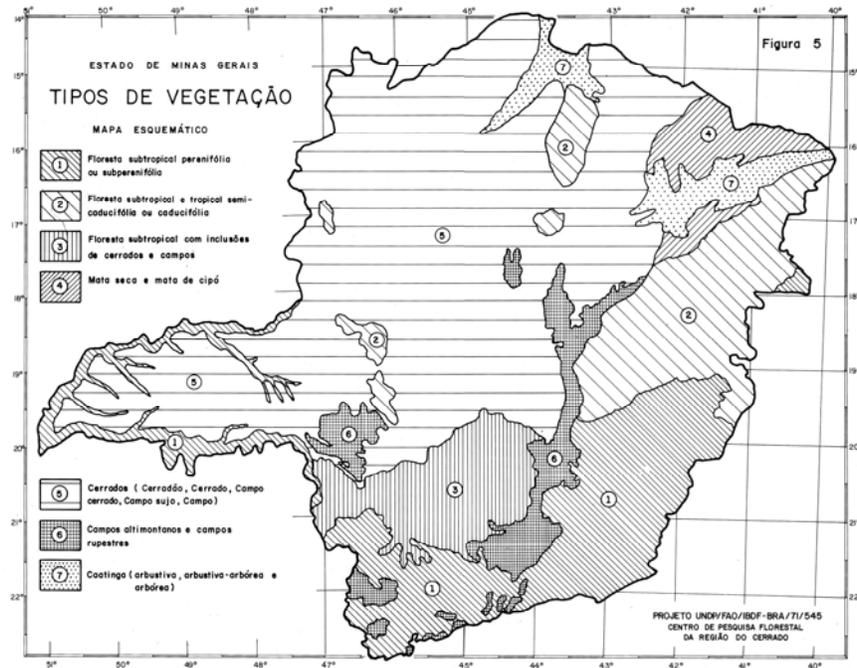
potenciais para ocorrência de Florestas Estacionais Deciduais, porém nessa região são abundantes os registros de ocorrência de florestas semidecíduas (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Oliveira-Filho et al., 2006). No entanto, registros de Florestas Estacionais Deciduais também podem ser encontrados (Rodrigues & Araújo 1997; Oliveira-Filho et al., 1998). Nessa região, uma combinação de fatores principalmente relacionados à umidade e fertilidade do solo favorece a ocorrência de uma em detrimento da outra (Oliveira-Filho & Ratter, 2002) e destas em relação ao Cerrado.

Os modelos de previsão de distribuição geográfica que utilizam o conceito de nicho ecológico fundamental ignoram a interferência de fatores que desempenham um papel importante na restrição das espécies ao seu nicho real, como as interações antagonísticas com outras espécies, principalmente a competição, fatores antropogênicos e a ocorrência de distúrbios pouco previsíveis, como fogo, inundações e tempestades (Soberón & Peterson, 2005). A flora do Triângulo Mineiro sofre influência de florestas estacionais do Domínio Atlântico pelo oeste de São Paulo e sudeste mineiro (Oliveira-Filho & Fontes, 2000).

A distribuição potencial de fitofisionomias, modelada com base em variáveis abióticas, proposta neste trabalho, apresenta semelhanças com o mapa esquemático de vegetação apresentado por Golfari (1975), que foi fruto de adaptações de mapeamentos anteriores e refinado por observações de campo. (Figura 6). Essas semelhanças envolvem a delimitação de áreas de tensão ecológica como a bacia do Rio Jequitinhonha e no sudeste de Minas e, também, áreas de co-ocorrência de Florestas Estacionais Semidecíduas e Florestas Estacionais Deciduais no Triângulo Mineiro.

Segundo Golfari (1975), diferentes formações vegetais se alternam e se misturam sem uma linha de demarcação definida. A alteração sofrida por áreas

de florestas como consequência de atividades humanas, como desmatamento e uso alternativo do solo, tornam essa divisão ainda mais insegura.



FONTE: Golfari (1975)

FIGURA 6 Tipos de vegetação em Minas Gerais

Na Figura 7, foram confrontados os valores de probabilidade dos três grupos. Nos locais onde havia empate na imagem final, era atribuído o nome do grupo que tinha a mais alta posição de importância. Na Figura 7a, a ordem de importância é Grupo 3, Grupo 1 e Grupo 2 e na Figura 7b, Grupo 1, Grupo 3 e Grupo 2.

É notável que as duas técnicas tenham mostrado, principalmente, uma diferença na distribuição relativa dos Domínios do Cerrado e Atlântico. É consenso entre a maioria dos autores, que a distribuição das florestas no Brasil Central seria bem mais extensa nas condições climáticas atuais, caso o cerrado

não persistisse em sua extensão graças ao regime de fogo (Figura 7b) (Oliveira-Filho & Ratter, 2002). O cerrado, como outras savanas, é uma vegetação, ao mesmo tempo, muito inflamável e resistente ao fogo, podendo, portanto, restringir ou favorecer o estabelecimento de espécies florestais. Se assim for, trata-se de uma evidência em escala geográfica da questão do nicho real que não permite prever distribuições com perfeição a partir apenas do ambiente abiótico. No presente caso, o modelo que desfavorece a distribuição da floresta em relação ao cerrado (Figura 7a) pode cumprir parcialmente a função de “corrigir” este efeito.

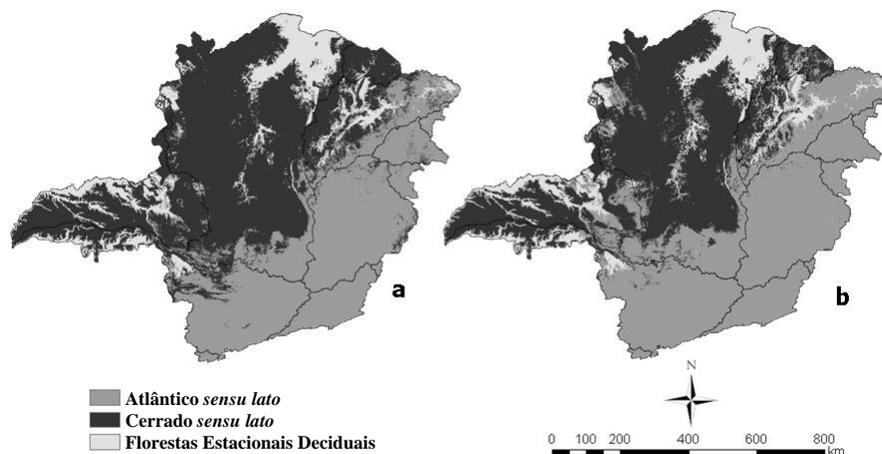


FIGURA 7 Distribuição dos três Domínios Fitogeográficos de Minas Gerais com base na maior probabilidade de ocorrência dos três principais grupos fitofisionômicos de acordo com a ordem de importância (a) Grupo 3, Grupo 1 e Grupo 2; (b) Grupo 1, Grupo 3 e Grupo 2.

Apesar da diferença de escala de trabalho, o modelo de distribuição dos três domínios fitogeográficos para Minas Gerais, representado pela Figura 7a, apresenta grande semelhança, excetuando o grupo de Florestas Estacionais Deciduais, com o “Mapa de Biomas do Brasil” (Figura 8) proposto por IBGE (2004), que tomou como referência o “Mapa de Vegetação do Brasil”, em escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2004).

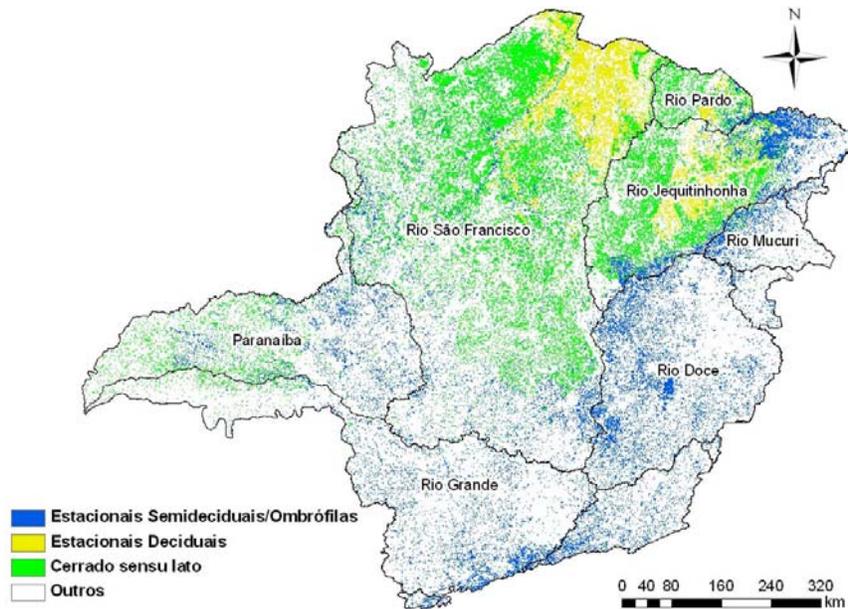


FONTE: IBGE (2004)

FIGURA 8 Mapa dos Biomas presentes em Minas Gerais.

Na Figura 9, são apresentados os três grupos fitofisionômicos mapeados por meio de imagens do sensoriamento remoto, pelo Inventário Florestal de Minas Gerais (Carvalho & Scolforo, 2008). Observa-se, em relação à Figura 5, que o grupo 3 avança mais a leste pela bacia do Rio Jequitinhonha e recua no sudeste com o avanço de fitofisionomias do grupo 1. De acordo com Veloso (1991), o mapeamento do contato entre tipos de vegetação com estruturas fitofisionômicas semelhantes, por simples interpretação de imagens, não é fácil. Geralmente nestas áreas, os tipos vegetacionais formam comunidades

indiferenciadas onde as floras se interpenetram, como acontece na bacia do Jequitinhonha. Assim, os autores destacam a importância da informação derivada de levantamentos fitossociológicos para a delimitação destas áreas de transição.



FONTE: Carvalho & Scolforo (2008)

FIGURA 9 Agrupamento das principais fitofisionomias mapeadas pelo Inventário Florestal de Minas Gerais

O gráfico do receptor-operador (ROC-plot) para cada grupo, pode ser observado na Figura 10. Quanto mais próxima de 1,0 e mais distante de 0,5 for a área sob a curva ROC, maior será a precisão do modelo (Fielding & Bell, 1997). De acordo com Elith et al. (2006), um modelo apresenta um desempenho satisfatório quando a AUC alcança valores maiores que 0,72. Sendo assim, os modelos atingiram bom desempenho: 0,89 para o Grupo 1, 0,79 para o Grupo 2 e 0,81 para o Grupo 3, demonstrando que a combinação de modelos de espécies

indicadoras para cada ambiente gerou modelos robustos, com uma boa capacidade de generalização da distribuição das fitofisionomias que representam.

Araújo & New (2007) defendem que previsões combinadas originadas de diversos modelos de distribuição geográfica alcançam melhor desempenho do que qualquer previsão individual, demonstrando sua eficiência na redução de erros de comissão (falsos positivos) e de omissão (falsos negativos) em relação à distribuição observada e, apesar de nem sempre remover as incertezas da modelagem, produzem previsões mais próximas do real, permitindo uma tomada de decisão mais acertada.

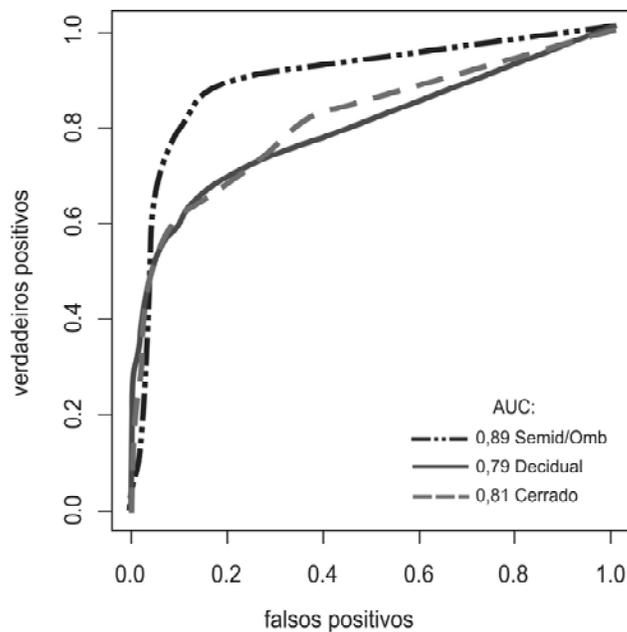


FIGURA 10 Curva ROC (ROC-plot) para os modelos gerados para o Grupo 1: Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas; Grupo 2: Florestas Estacionais Deciduais e Grupo 3: Cerrado *sensu lato*.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estimada a distribuição potencial dos principais grupos fitofisionômicos dentro do estado de Minas Gerais (1) Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas, (2) Florestas Estacionais Deciduais e (3) Cerrado *sensu lato*, bem como suas regiões de contato, baseados em dados abióticos. Com isso, pode-se concluir que:

- Foi possível definir espécies indicadoras para cada um dos grupos fitofisionômicos dentro de Minas Gerais com alta significância estatística, sugerindo que os ambientes são separáveis entre si em termos de composição de espécies e demonstrando a potencialidade da representação de cada uma destas no ambiente o qual indicam.
- A combinação de espécies indicadoras para cada grupo fitofisionômico explica sua distribuição geográfica, gerando modelos com uma acuracidade satisfatória.
- A comparação da distribuição potencial de fitofisionomias em Minas Gerais com outros trabalhos realizados para o Estado demonstrou que a metodologia proposta por este trabalho possui uma boa capacidade de generalização, sendo uma ferramenta de análise útil para o planejamento ambiental.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N. **Os domínios da natureza do Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.

ALMEIDA, H.S.; MACHADO, E.L.M. Relações Florísticas entre Remanescentes de Floresta Estacional Decídua no Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, p.648-650, 2007.

ARAÚJO, M.B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.22, p.42–47, 2007

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecology**: from individual to ecosystems. London: Blackwell Cientific, 1981. 200p.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.H.; OLSHEN, R.A. **Classification and regression tress**. Belmont: Chapman & Hall, 1984. 358p.

BRIDGEWATER, S.; RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F., Biogeographic patterns, β -diversity and dominance in the cerrado biome of Brazil. **Biodiversity and Conservation**, London, v.13, p.2295–2318, 2004.

BRITO, A; MELLO, J.M; ACERBI JUNIOR, F.W.; CARVALHO, L.M.T; SILVEIRA, E.M.O Amostragem para determinação da acurácia do mapeamento In: CARVALHO, L.M.T, SCOLFORO, J.R.S (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**: monitoramento da flora nativa 2005 – 2007. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 3, p.317-328.

BROWN, J.; LOMOLINO, M. **Biogeografia**. 2.ed. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2006. 691p.

CANHOS, V.P.; SOUZA, S.; GIOVANNI, R.; CANHOS, D.A.L. Global biodiversity informatics: setting the scene for a “new world” of ecological modeling. **Biodiversity Informatics**, Lawrence, v.1, p.1-13, 2004.

CARNAVAL, A.C.; MORITZ, C. Historical climate modeling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, Oxford, v.35, p.1187–1201, 2008.

CARPENTER, G.; GILLISON, A.N.; WINTER, J.; DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animals. **Biodiversity and Conservation**, London, v.2, p.667–680, 1993.

CARVALHO, L.G.; OLIVEIRA, M.S.; ALVES, M.C.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C.; CASTRO NETO, P.; DANTAS, A.A.A. Clima. In: SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. (Ed.). **Zoneamento econômico ecológico do Estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. Cap.4, p.89-101.

CARVALHO, L.M.T.; SCOLFORO, J.R.S (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005 – 2007**. Lavras: UFLA, 2008. 357p.

CLARKE, R.T.; BITTENCOURT, H.R. Uso de árvores de decisão na classificação de imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBSR/INPE, 2003. p.2043-2045.

CUROTTO, C.L.; EBECKEN, N.F.F. **Árvore de decisão**. Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2000. 59p. (Relatório Técnico). Disponível em: < www.curotto.com/doc>. Acesso em: 19 nov. 2004.

CURY, N.; MARQUES, J.J.G.; MARQUES, A.F.S.M.; FERNANDES, E.I. Solos, geologia, relevo e mineração. In: SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. (Ed.). **Zoneamento econômico ecológico do Estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 3, p.73-88.

DRUMMOND, G.M.; MARTINS, C.S.; MACHADO, A.B.M.; SEBAIO, F.A.; ANTONINI, Y (Org.). **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. 2.ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222p.

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, Lawrence, v.3, n.67, p.345-366, 1997.

DURIGAN, G. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: CULLEN Jr., L.; RUDRAN; R.; VALLADARES-PÁDUA, C. (Org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: UFPR/Fundação Boticário de Proteção à Natureza, 2003. p.455-479.

DUTRA, G.C.; CARVALHO, L.M.T. Modelos de distribuição geográfica de *Amaioua guianensis* Aubl. em Minas Gerais. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v.4, p.47-55, 2008.

ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P.; DUDIK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R.J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J.R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L.G.; LOISELLE, B.A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J.M.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, S.J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.E.; SOBERON, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M.S.; ZIMMERMANN, N.E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, Copenhagen, v.29, n.2, p.129-151, 2006.

FAGUNDES, L.M.; CARVALHO, D.A.; VAN DEN BERG, E.; MARQUES, J. J.G.S.M.; MACHADO, E.L.M. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduas às margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v.21, n.1, p.65-78, 2007.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira: províncias florísticas**. 3.ed. Fortaleza: Realce, 2006. 202p.

FIELDING, A.H. (Ed.). **Machine learning methods for ecological applications**. Boston: Kluwer Academic, 1999. 261p.

FIELDING, A.H.; BELL, J.F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, Lausanne, v.1, n.24, p.38-49, 1997.

FIGUEIREDO, W.M.B.; SILVA, J.M.C.; SOUZA, M.A. Biogeografia e a conservação da biodiversidade. In: ROCHA, C.F.D.; BERGALLO, H.G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M.A.S. (Org.). **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, 2006. p.231-260.

GASTON, K.J. How large is a species geographic range. **Oikos: a journal of ecology**, Copenhagen, v.61, n.3, p.434-438, 1991.

GASTON, K.J. Measuring geographic range size. **Ecography**, Copenhagen, v.17, p.198-205, 1994.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: CPFRC, 1975. 65p. (PRODEPEF, Série Técnica, 3).

GUISAN, A.; WEISS, S. B.; WEISS, A.D. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. **Plant Ecology**, Dordrecht, v.143, n.1, p.107-122, 1999.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N.E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.135, p.147-186, 2000.

HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L. **WorldClim versão 1.4**. Disponível em: <http://www.worldclim.org/>. Acesso em: 15 maio 2008.

HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, Chichester, v.25, p.1965-1978, 2005.

HUTCHINSON, G.E. Population studies – animal ecology and demography: Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, New York, v.22, p.415-427, 1957.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/. Acesso em: 10 jun. 2007.

JANSSEN, L.L.F. **Methodology for updating terrain object data from remote sensing data**: the application of Landsat TM data with respect to agricultural field. 1993. Thesis (Ph. D)-Wageningen Agricultural University, Wageningen.

MARTÍNEZ-MEYER, E.; PETERSON, A.T.; SERVÍN, J.I.; KIFF, L.F. Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. **Oryx**, Oxford, v.40, n.4, 2006, p.411-418.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M.J. **Multivariate analysis of ecological data**. Gleneden Beach: MjM Software, 1999.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. United States Geological Survey (USGS). **Shuttle radar topography mission data (SRTM)**. Sioux Falls: USGS, 2000. Disponível em:

<<http://seamless.usgs.gov/website/seamless/viewer.php>>. Acesso em: 12 jul. 2007.

NIX, H.A. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: LONGMORE, R. (Ed.). **Atlas of elapid snakes of Austrália**. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1986. (Australian Flora and Fauna, 7).

OLIVEIRA-FILHO, A.T. **Catálogo de árvores nativas de Minas Gerais**: mapeamento e inventário e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2006. 423p.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. **TreeAtlas** - flora arbórea da Mata Atlântica e domínios adjacentes: um banco de dados envolvendo geografia, diversidade e conservação. Disponível em: <http://www.treetatlan.dcf.ufla.br>. Acesso em: 15 maio 2008.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; CURI, N.; VILELA, E.A.; CARVALHO, D.A. Effects of canopy gaps, topography and soils on the distribution of woody species in a central Brazilian deciduous dry forest. **Biotropica**, St. Louis, v.30, n.3, p.362-375, 1998.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; FONTES, M.A.L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, St. Louis, v.32, n.4, p.793-810, Dec. 2000.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; JARENKOW, J.A.; RODAL, M.J.N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In: PENNINGTON, R.T.; RATTER, J.A.; LEWIS, G.P. (Ed.) **Neotropical savannas and dry forests**: plant diversity, biogeography and conservation. Boca Raton: CRC/Taylor and Francis Group, 2006. Cap. 7, p.159-192. (The Systematic Association Special, 69).

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). **The cerrados of Brazil**: ecology and natural history of a Neotropical savanna. New York: Columbia University, 2002. Cap.6, p.91-120.

PEARSON, R.G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v.12, p.361-371, 2003.

- PEARSON, R.G.; DAWSON, T.P.; BERRY, P.M.; HARRISON, P.A.
SPECIES: a spatial evaluation of climate impact on the envelope of species.
Ecological Modelling, Amsterdam, v.154, n.289-300, 2002.
- PEARSON, R.G.; RAXWORTHY, C.J.; NAKAMURA, M.; PETERSON, A.T.
Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, Oxford, v.34, n.1, p.102-117, 2007.
- PETERSON, A.T.; PAPES, M.; EATON, M. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. **Ecography**, Copenhagen, v.30, p.550-560, 2007.
- PETERSON, A.T.; SÁNCHEZ-CORDERO, V.; SOBERÓN, J.; BARTLEYD, BUDDEMEIERD, J.R.W.; NAVARRO-SIGÜENZA, A.G. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.144, p.21-30, 2001.
- PETERSON, A.T.; SCACHETTI, P.R.; NEVES, V.F.C. Using epidemiological survey data to infer geographic distributions of leishmaniasis vector species. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Rio de Janeiro, v.37, p.10-14, 2004.
- PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; SÁNCHEZ-CORDERO, V. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. **Science**, Washington, v.285, p.1265-1267, 1999.
- PETERSON, A.T.; VIEGLAIS, D.A. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. **BioScience**, Washington, v.1, n.5, p.363-371, 2001.
- PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.190, p.231-259, 2006.
- PHILLIPS, S.J.; DUDIK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography**, Copenhagen, v.31, p.161-175, 2008.
- PRADO D.E.; GIBBS, P.E. Patterns of species distribution in the dry seasonal forests of South America. **Annals of the Missouri Botanic Garden**, Missouri, v.80, p.902-927, 1993.

QUINLAN, J.R. Induction of decision trees. **Machine Learning**, Boston, v.1, p.81-106, 1986.

RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Woody Vegetation of the Brazilian Cerrados. In: PENNINGTON, R.T.; RATTER, J.A.; LEWIS, G.P. (Ed.). **Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Boca Raton: CRC/Taylor and Francis Group, 2006. Cap.2, p.31-58. (The Systematics Association Special, 69).

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina. EMBRAPA-CPAC, 1998. p.89-166.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997.

RODRIGUES, L.A.; ARAÚJO, G.M. Levantamento florístico de uma mata decídua em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, Porto Alegre, n.11, p.229-236, 1997.

ROMARIZ, D.A. **Aspectos da vegetação do Brasil**. São Paulo: [s.n.], 1996. 60p.

SAATCHI, S.; BUERMANN, W.; TER STEEGE, H.; MORI, S.; SMITH T.B. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.112, p.2000-2017, 2008.

SIQUEIRA, M.F.; DURIGAN, G. Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.30, n.2, p.239-249, 2007.

SIQUEIRA, M. F.; PETERSON, A. T. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.

SKIDMORE, A. (Ed.). **Environmental modeling with GIS and remote sensing**. New York: Taylor and Francis, 2001. 304p.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A.T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, Lawrence, v.2, p.1-10, 2005.

STOCKWELL, D.R.B. Genetic algorithms II. In: FIELDING, A.H. (Ed.). **Machine learning methods for ecological applications**. Boston: Kluwer Academic, 1999. p.123-144.

STOCKWELL, D.R.B.; NOBLE, I.R. Induction of sets of rules from animal distribution data: A robust and informative method of data analysis. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v.33, p.385-390, 1992.

STOCKWELL, D.R.B.; PETERS, D.P. The GARP modeling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. **International Journal of Geographic Information Systems**, London, v.13, p.143-158, 1999.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p.

ANEXO

	Página
FIGURA 1 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras de Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas - Grupo 1.....	43
FIGURA 2 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras de Florestas Estacionais Decíduais - Grupo 2.....	45
FIGURA 3 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras de Cerrado <i>sensu lato</i> - Grupo 3.....	47

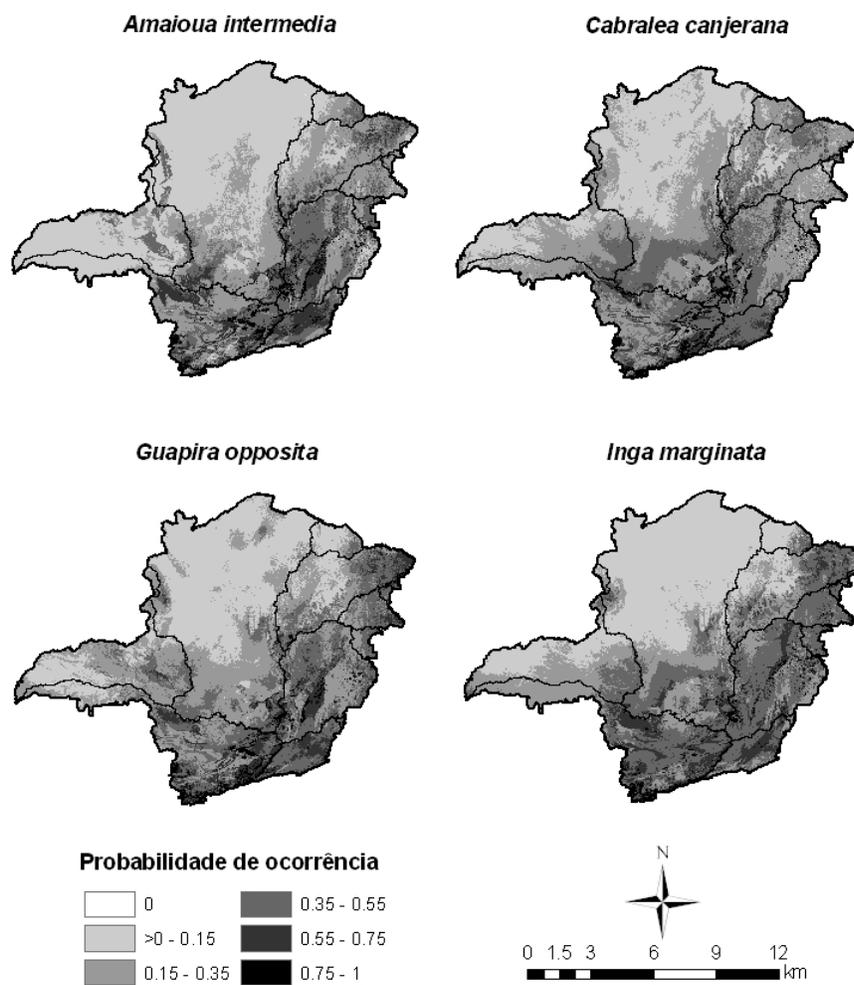


FIGURA 1 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras de Florestas Estacionais Semidecíduais/Florestas Ombrófilas - Grupo 1 (...continua...)

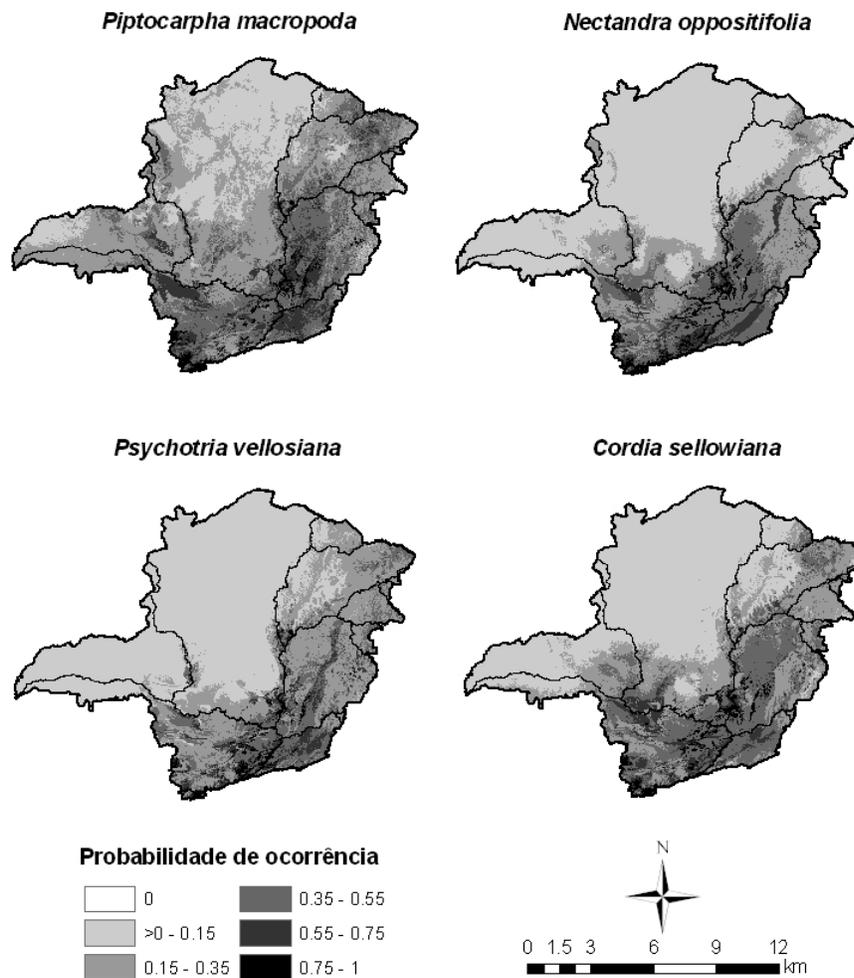


FIGURA 1 Continuação ...

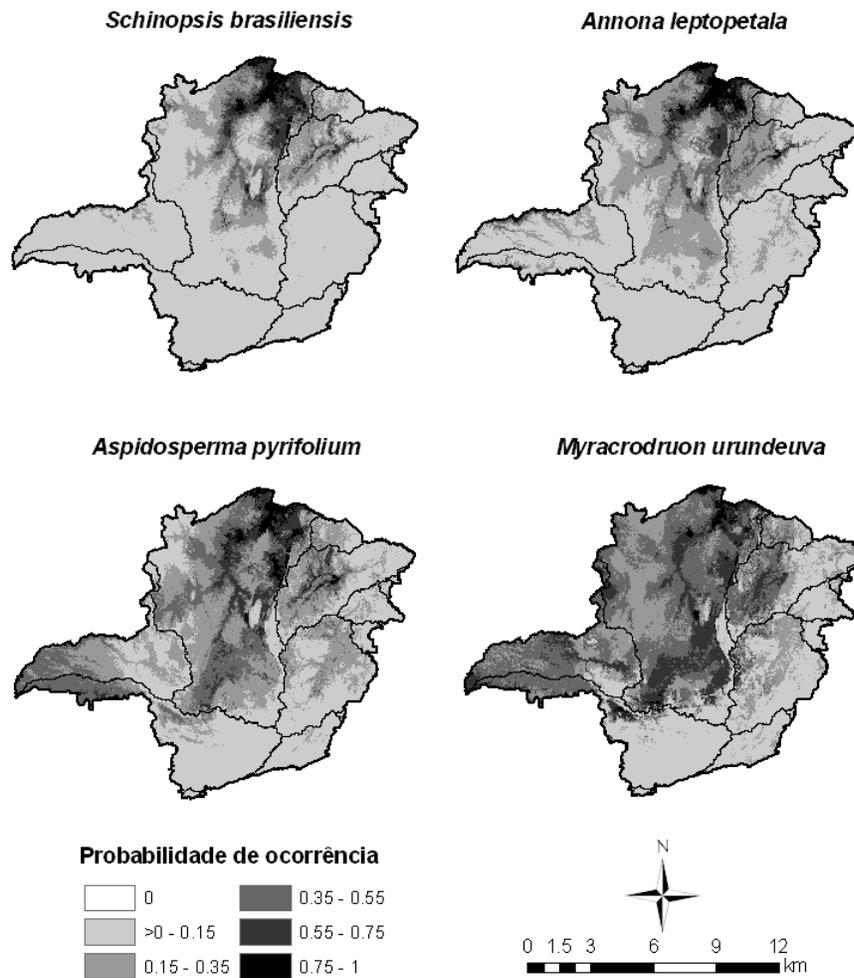


FIGURA 2 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras de Florestas Estacionais Deciduais - Grupo 2 (...continua...)

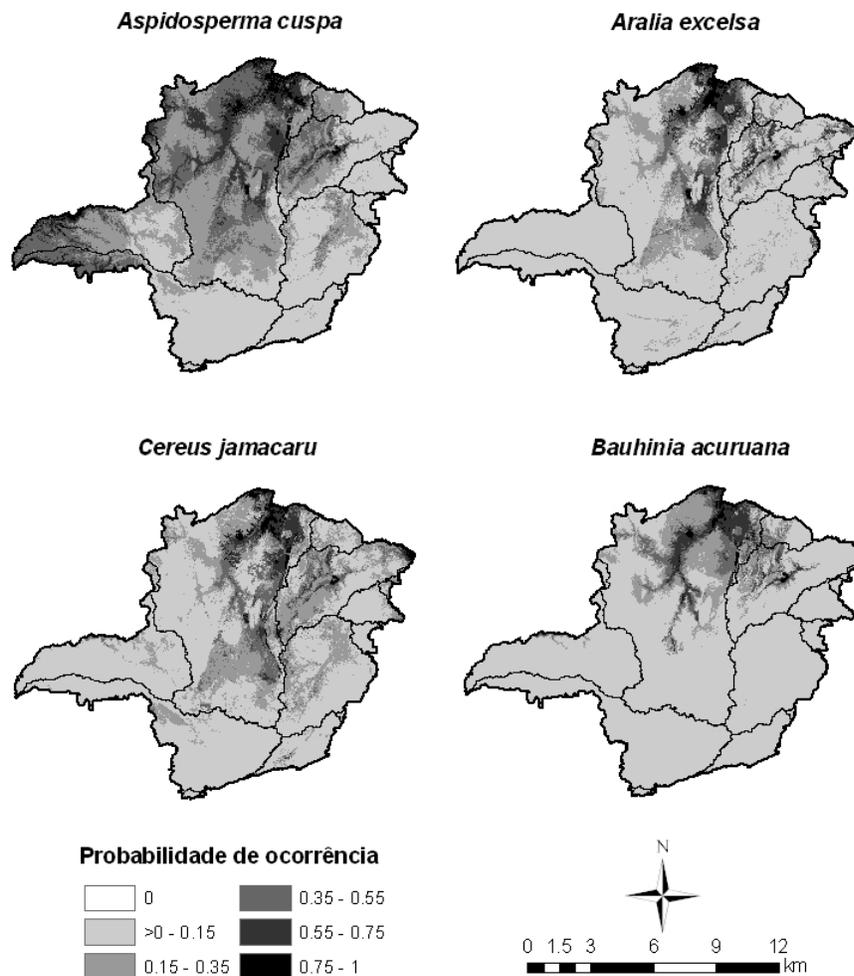


FIGURA 2 Continuação ...

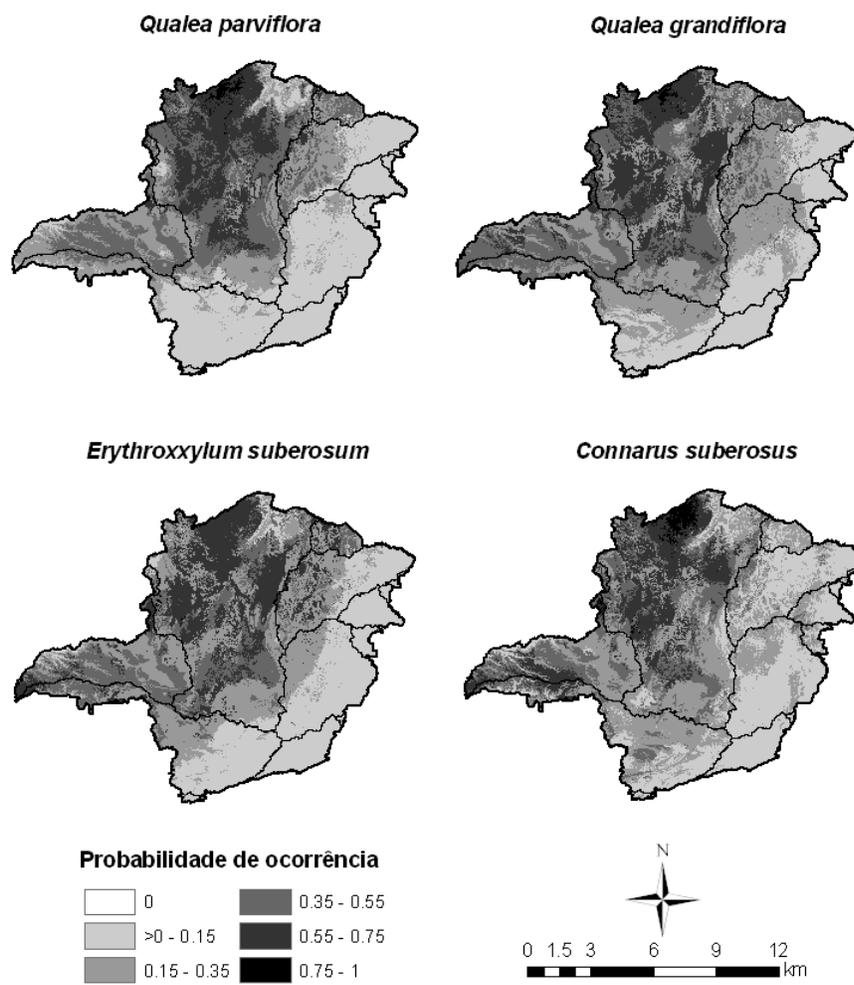


FIGURA 3 Distribuição geográfica potencial das oito espécies mais indicadoras do Cerrado *sensu lato* - Grupo 3 (...continua...)

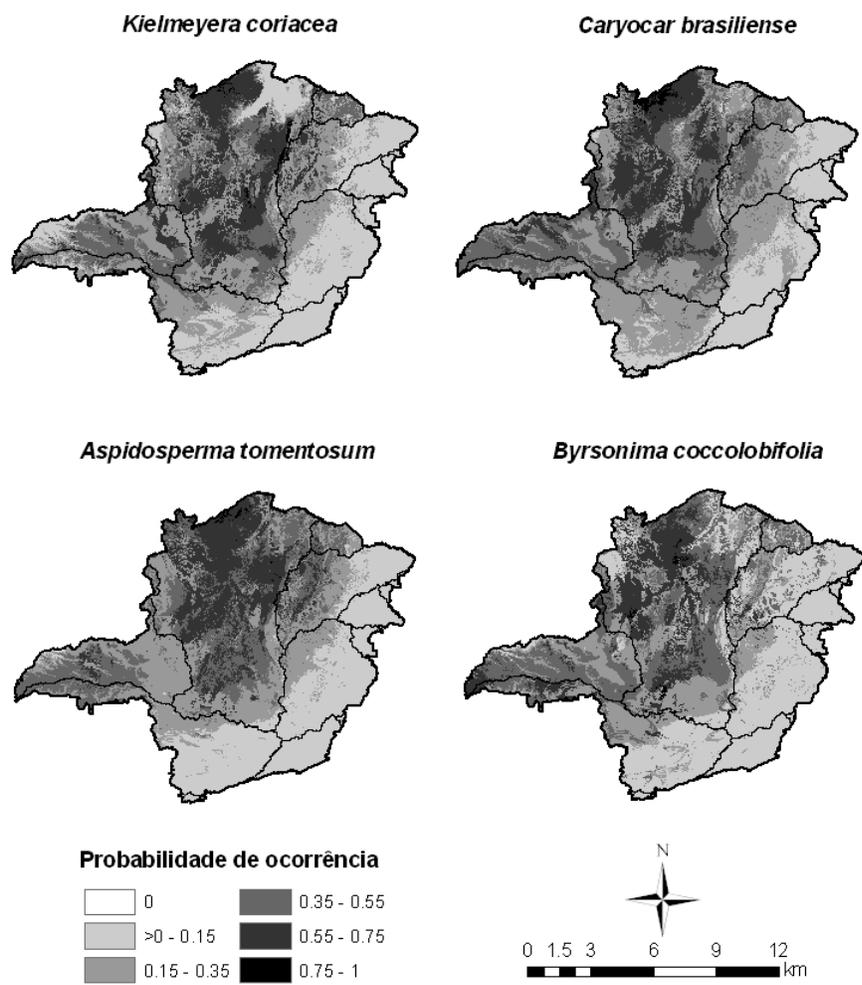


FIGURA 3 Continuação ...