



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ECOLOGIA E EVOLUÇÃO



Estrutura hierárquica na resposta das distribuições geográficas de plantas do Cerrado à mudanças climáticas

Nayara Pereira Rezende de Sousa

Professor Dr. José Alexandre Felizola Diniz Filho (Orientador)
Professor Dr. Thiago Fernando Lopes Valle de Britto Rangel (Co-orientador)

Goiânia
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

**Estrutura hierárquica na resposta das distribuições
geográficas de plantas do Cerrado à mudanças climáticas**

Nayara Pereira Rezende de Sousa

Professor Dr. José Alexandre Felizola Diniz Filho (Orientador)

Universidade Federal de Goiás - Goiânia/GO

Professor Dr. Thiago Fernando Lopes Valle de Britto Rangel (Co-orientador)

Universidade Federal de Goiás - Goiânia/GO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Evolução.

Goiânia

2011

Estrutura hierárquica na resposta das distribuições geográficas de plantas do Cerrado à mudanças climáticas

Nayara Pereira Rezende de Sousa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Evolução.

Marinez Ferreira de Siqueira

Marcus Vinícius Cianciaruso

José Alexandre Felizola Diniz Filho
(Orientador)

Thiago Fernando Lopes Valle de Britto Rangel
(Co-orientador)

Goiânia
2011

AGRADECIMENTOS

Agradecer parece algo simples, mas prefiro classificar como importante e necessário. Primeiro, porque não se faz um trabalho sozinho e, também, por representar a gratidão e o carinho por todos que, de alguma forma, ajudaram na elaboração do trabalho. Seja uma ajuda no início, no desenvolver, nas análises, na escrita, na finalização ou ao longo de todo o trabalho.

Agradeço, primeiramente, ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) através da bolsa de DTI-3 da Rede Clima e aos coordenadores e professores integrantes do projeto de Fomento à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas.

Quero deixar meus agradecimentos, em especial, ao prof. José Alexandre F. Diniz Filho, pela orientação, sabedoria e enorme paciência. Imagino que fui uma das alunas que mais lhe deu trabalho para orientar. Agradeço ao prof. Thiago Fernando L. V. B. Rangel pelo apoio nas análises, disponibilidade, assistência e co-orientação, mesmo eu tendo receio de conversar com ele. Com certeza, o seu auxílio e o do prof. José Alexandre foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Antecipadamente, agradeço à banca por aceitar o convite, pela participação e por ler o texto em prazo curto. Agradeço, também, aos colegas de laboratório que tiveram participações indispensáveis ao longo do mestrado: Vanessa, Ricardo, Heury, Mariana, Guilherme, Bruno, Thiago Santos, Fernanda Melo, Fernanda Cassemiro, Natália, Eduardo, Caroline, Leandro Juen, Sidney e Sara.

Não é possível fazer um mestrado (ou ao menos tentar fazer) sem lembrar dos professores, agradeço muito todo o programa de pós-graduação em Ecologia e Evolução pela excelência, qualidade, dedicação e comprometimento com a ciência e o ensino. Além dos professores, agradeço toda equipe administrativa por fazer o possível para nos auxiliar e resolver os trâmites burocráticos. Há dois professores que gostaria de agradecer especificamente: profs. Paulo e Joaquín pela disponibilidade em auxiliar, ensinar e pelas opiniões no trabalho. Também

quero lembrar das suas esposas: profas. Flávia e Guida, respectivamente, e agradecê-las pela alegria contínua e pelo exemplo de união.

Vale lembrar dos colegas de turma de mestrado: Alexandre, Caio, Carla, Caroline, Cecília, Eduardo, Felipe, Fernando, Jacqueline, Jade, Joaquim, Julio, Luciano, Luís, Mariana, Poliana, Priscylla, Taísa, Thiago e Walter, meu obrigado pela convivência. Existem pessoas que agradeço pela amizade, pelo convívio acadêmico e pessoal: Mariana pelo exemplo de luta e determinação; Fernanda Melo pela sinceridade, apoio e até pelas caronas; Vanessa pelo melhor exemplo de dedicação; Natália Torres pela autenticidade; Fernanda Casseiro pelo jeito alegre e espontâneo e a Jade pelo apoio, carinho e companhia incondicional. Agradeço, em especial, ao Felipe pelo um ano de companheirismo, carinho, dedicação e muita paciência, pois respeitou todos meus defeitos e ofereceu-me uma segunda família. Família composta por pessoas maravilhosas, as quais não posso mensurar meu carinho e gratidão!

Muitas pessoas não participaram diretamente na elaboração do trabalho, mas, de alguma forma, merecem ser lembradas: todas minhas amigas de infância (Cecília, Fabrícia e Janice) e amigas de faculdade (Jennifer, Ana Carolina, Daniela e Rafaella), meu obrigada pelos bons momentos juntas. Jamais me esquecerei de agradecer minha família. Principalmente, há uma pessoa que, mesmo sem entender, sempre apoiou todos minhas decisões, um exemplo de guerreira, mulher e mãe. Orgulho-me de tê-la como mãe, meu muito obrigada e meu amor eterno!

Ao longo desses dois anos, tive grandes aprendizados. Aprendi que gosto de assistir aula muito mais do que imaginava. Que quem mais tememos, pode ser quem mais nos ajude futuramente. Que as pessoas, aparentemente, tranquilas são as mais ansiosas e exigentes. Que o medo pode estar associado à cobrança pessoal e falta de autoconfiança. Que não importa como fazemos algo, mas sim o reconhecimento e esforço que temos diante disso. Que a ajuda pode vir de quem menos esperamos e que o verbo ajudar pode ter inúmeros significados e aplicações: auxílio para fazer o trabalho; apoio para seguir em frente, mesmo diante das críticas e preconceitos; estímulo para não desistir; companhia em qualquer momento ou amor pela mesma finalidade: ciência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	07
LISTA DA TABELA	09
RESUMO	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO	12
Mudanças Climáticas e Modelos de Distribuição Geográfica	12
Padrões de Mudança Climática no Cerrado	18
OBJETIVO	19
MÉTODOS	20
Dados	20
Modelos de Distribuição Potencial e Resposta Hierárquica da	23
Distribuição	
Deslocamento da Distribuição ou Vetores de Deslocamento	27
Deslocamento da Espécie em Relação ao seu Habitat	28
Padrões de Diversidade (ou riqueza)	28
Perda de Área e Fragmentação	29
RESULTADOS	29
DISCUSSÃO	37
Modelos de Distribuição Potencial e Resposta Hierárquica da	38
Distribuição	
Deslocamento da Distribuição	39
Padrões de Riqueza	41
Perda de Área e Fragmentação	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXO	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa da distribuição atual do bioma Cerrado, “shape” fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006). Página 20.

Figura 02: Mapa de cobertura vegetal do bioma Cerrado, fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006), disponível em http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf/vegetacao/mosaico_cobvegA0.pdf para maiores detalhes. Página 21.

Figura 03: Mapa da América do Sul dividido em 25.018 células de 0,25 x 0,25 graus. Página 24.

Figura 04: Projeção da distribuição do bioma Cerrado no futuro predito pelos SDMs (cinza escuro) e soma das projeções das distribuições futuras das regiões fitoecológicas preditas pelos SDMs (cinza claro), segundo as simulações conduzidas por meio do programa “BioEnsembles”. Página 30.

Figura 05: Projeção da distribuição do bioma Cerrado no futuro predito pelos SDMs (cinza escuro) e soma das projeções das distribuições futuras das espécies preditas pelos SDMs (cinza claro), segundo as simulações conduzidas por meio do programa “BioEnsembles”. Página 31.

Figura 06: (A) Vetores de deslocamento das coberturas vegetais determinadas pelo Ministério do Meio Ambiente (regiões fitoecológicas) e do bioma Cerrado. **Cobertura Vs:** Transição com Amazônia; **Cobertura C:** Floresta Tropical Caducifólia; **Cobertura A:** Faciações da Floresta Ombrófila Densa; **F:** Floresta Tropical Subcaducifólia; **T:** Carrasco; **Sp:** cerrado rupestre, campo sujo, vereda e murundus; **Sa:** cerrado s.s.; **Sg:** Campo limpo; **Sd:** Cerradão; **D:** Floresta Tropical Pluvial; **S:** savanas em geral (agrupa Sa, Sd, Sg e Sp). **(B)** Vetores de deslocamento das espécies de plantas do Cerrado. As quatro setas que deslocaram para região sudoeste referem-se as seguintes espécies: *Pterodon abruptus* (Moric.) Benth., *Lychnophora ericoides* Mart., *Hirtella ciliata* Mart. & Zucc. e *Lamanonia tomentosa* (Cambess.) Kuntze. A unidade de medida

utilizada nos gráficos está em metros, tanto para o eixo x quanto para o eixo y. Página 32.

Figura 07: Vetor do deslocamento médio de todas as espécies, vetor do deslocamento médio de algumas regiões fitoecológicas (cerrado s.s.; campo limpo; cerradão; cerrado rupestre, campo sujo, veredas, murundus e carrasco) e vetor de deslocamento do bioma Cerrado, para cenário futuro segundo simulações conduzidas por meio do “BioEnsembles”. A unidade de medida utilizada nos gráficos está em metros, tanto para o eixo x quanto para o eixo y. Página 33.

Figura 08: Diferença entre as médias dos ângulos de deslocamento da espécie e da região fitoecológica que ela ocorre. Página 34.

Figura 09: (A) Diversidade atual, segundo as simulações conduzidas no programa “BioEnsemble”, das espécies de plantas do Cerrado por célula. **(B)** Diversidade futura, segundo as simulações conduzidas no programa “BioEnsemble”, das espécies de plantas do Cerrado por célula. Resolução da célula de 0,25 x 0,25 graus. Página 35.

Figura 10: Diferença, por célula, da diversidade atual predita e futura das espécies de plantas do Cerrado. Resolução da célula de 0,25 x 0,25 graus. Página 35.

Figura 11: Diferenças no número médio de fragmentos das espécies entre a distribuição atual das espécies e a distribuição futura. Página 36.

Figura 12: Diferenças entre o tamanho a área média dos fragmentos da distribuição atual das espécies e da distribuição futura. Página 37.

LISTA DA TABELA

Tabela 01: Classes da cobertura vegetal natural das regiões fitoecológicas do Cerrado, determinadas pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006). Página 22.

RESUMO

O clima pode ser considerado um fator extremamente importante na distribuição da vegetação e suas características em um contexto global. Mudanças climáticas afetaram a distribuição global da vegetação em um passado distante e, provavelmente, afetarão no futuro. Os modelos de distribuição geográfica potencial de espécies (*spatial distribution model* – SDM), conhecidos também como modelos de nicho, são uma das melhores ferramentas atuais para prever mudanças induzidas pelo clima sobre a distribuição das espécies. Em geral, estudos sobre as consequências das mudanças climáticas na redistribuição dos biomas englobam apenas a distribuição geográfica do bioma ou analisam as espécies individualmente. A disponibilidade de dados climáticos e ecológicos em larga escala, além dos procedimentos mais eficientes de obtenção de dados a partir de sistemas de informação geográfica, programas de otimização e maior poder computacional favorecem o processo de modelagem de distribuição potencial, além de ampliarem a eficiência dos resultados disponíveis pelos SDMs. O objetivo principal deste trabalho é avaliar se existe uma estrutura hierárquica no deslocamento das distribuições futuras do bioma Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do bioma, sob o efeito de mudanças climáticas. Consequentemente, pode-se evidenciar alguns efeitos dessas alterações climáticas sob o padrão de riqueza das espécies e o padrão das distribuições geográficas futuras do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies. Este estudo demonstrou que não existe uma estrutura hierárquica na resposta da distribuição vegetacional frente às previsões de mudanças climáticas para o ano de 2080 no Cerrado brasileiro. Em geral, nas três escalas estudadas as respectivas distribuições deslocam-se para o sudeste do Brasil, de modo que essa região passa a ter um ganho de diversidade local enquanto o restante do Cerrado será afetado com o empobrecimento de sua diversidade. Este estudo aponta ainda, que num futuro próximo, as espécies do Cerrado serão afetadas com a perda de habitat, decorrente tanto da perda de fragmentos como da redução de área destes.

Palavras-chave: mudanças climáticas, Cerrado, plantas, modelos de distribuição potencial e BioEnsembles.

ABSTRACT

The climate can be considered an extremely important factor in vegetation distribution and its characteristics in a global context. Climate changes affect the global distribution of vegetation in the distant past and probably will affect in the future. Spatial distribution models of species (SDMs), also known as niche models are one of the best current tools for predicting climate-induced changes on the distribution of species. In general, studies of the consequences of climate changes on the distribution of biomes include only the geographic distribution of the biome or the species are analyzed individually. The availability of climatic and ecological data on a large scale, in addition to more efficient procedures for obtaining data from geographic information systems, optimization programs and greater computing power favor the process of modeling the potential distribution, and broaden the effectiveness of results available by the SDMS. The main objective of this study is to evaluate whether there is a shift in the hierarchical structure of future distributions of biome, phytoecological regions and plants species of the biome under the effect of climate changes. Consequently, we evaluate some effects of climate changes on the pattern of species richness and pattern of future distributions of the biome, phytoecological regions and species. This study shows that there is a hierarchical structure in the response of vegetation distribution faces climate changes predictions for the year 2080 in the Brazilian Cerrado. In general, in the three scales studied their distributions are moving toward to southeast of Brazil, thus this region is replaced by a diversity gain while the rest of the local Cerrado suffers from the impoverishment of their diversity. This study also shows that in the near future, the Cerrado species will show habitat loss, due to both the loss of fragments and area reduction of these.

Keywords: climate change, Cerrado, plants, spatial distribution models and BioEnsembles.

INTRODUÇÃO

Mudanças Climáticas e Modelos de Distribuição Geográfica

As mudanças climáticas representam uma ameaça para a biodiversidade, talvez a mais abrangente dentre várias, dado o seu potencial de produzir impactos mesmo em áreas pouco antropizadas (Malcolm *et al.*, 2006). Temperatura e umidade são as principais variáveis que sofrem alteração em decorrência das mudanças climáticas, sendo previsto um aumento nas temperaturas mínimas e um decréscimo, em média, de 0.3% na precipitação por década (IPCC, 2001).

A condição climática está, temporalmente, sob a influência da sua própria dinâmica interna e devido a mudanças nos fatores externos que o afetam, incluindo fenômenos naturais, como erupções vulcânicas e as variações na radiação solar. Está claro, atualmente, que alterações antrópicas também têm funcionado como um fator externo adicional e causa mudanças na composição atmosférica (tais como desmatamento, emissão de poluentes), que foram agravadas a partir da revolução industrial nos séculos XVIII e XIX. O clima, portanto, responde direta e indiretamente a essas alterações por meio de uma variedade de mecanismos de retroalimentação (Le Treut *et al.*, 2007).

O clima pode ser considerado um fator extremamente importante na distribuição da vegetação e suas características em um contexto global. Mudanças climáticas afetaram a distribuição global da vegetação em um passado distante (Hessler *et al.*, 2010) e, provavelmente, afetarão no futuro. Por outro lado, mudanças na distribuição e estrutura da vegetação podem influenciar o clima. (Nobre *et al.*, 2004).

Para a compreensão dos efeitos das mudanças climáticas é necessário uma abordagem de pesquisa interdisciplinar (Morlot *et al.*, 2007) que considere não só aspectos geográficos e climatológicos, mas também aspectos sociais. Nesta direção, os relatórios do IPCC demonstram o esforço empreendido pelos governos para reunir os resultados de pesquisas sobre mudanças climáticas em áreas que vão desde os modelos de clima às dimensões econômicas do problema e possíveis soluções (IPCC, 2000 e 2007). Adicionalmente, a recente

divulgação do relatório do Ministério do Meio Ambiente sobre Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade (Marengo, 2007) chamou a atenção pública nacional para as consequências destas mudanças.

Os resultados disponíveis até o momento indicam que as mudanças climáticas serão espacialmente heterogêneas (Walther *et al.*, 2002), gerando respostas ecológicas diferentes em cada lugar (Thomas *et al.*, 2004). Além disso, essas mudanças também influenciam a alteração das distribuições geográficas das espécies ao longo do espaço (Parmesan, 2006), visto que o clima é um importante fator na determinação do padrão espacial da diversidade (Hawkins *et al.*, 2003). O grau de exposição de uma espécie às mudanças climáticas depende da intensidade que esse fenômeno ocorre dentro da sua distribuição geográfica (Williams *et al.*, 2008).

Em geral, o aquecimento global promove o deslocamento da área de distribuição das espécies em direção a regiões mais frias, como altas latitudes e altitudes, o que é consistente com o recente aumento na temperatura nas regiões temperadas (Parmesan, 1996; Konvicka *et al.*, 2003; Brommer, 2004; Walther *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2005; Hickling *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2006; Colwell *et al.*, 2008; Lawler *et al.*, 2009). Com o aumento esperado na temperatura para o futuro, as mudanças climáticas serão ainda maiores em relação ao século passado (IPCC 2007a) e provavelmente irão produzir um gama de alterações ainda maior (Thomas *et al.*, 2004; Thuiller *et al.*, 2005). Em muitos casos, os impactos dessas mudanças vão muito além da mera adição ou subtração de uma espécie, pois é esperado que estas mudanças climáticas produzam efeitos em cascata sobre a estrutura da comunidade e do funcionamento dos ecossistemas (Lovejoy & Hannah, 2005 em Lawler *et al.*, 2009).

A combinação dos climas do passado e atual é o principal condutor da diversidade, os mesmos elementos do clima que atualmente determinam os padrões de riqueza também podem ter influenciado os padrões históricos de riqueza (Hawkins *et al.*, 2005). É provável que as alterações climáticas diminuam a riqueza de espécies de plantas, por favorecer a presença, nas comunidades, de espécies tolerantes ao calor, adaptadas ao fogo ou tolerantes à seca em áreas sujeitas à precipitação reduzida (Williams *et al.*, 2007; Mayle *et al.*, 2004).

Espécies de sucessão inicial adaptadas à germinação em altas temperaturas do solo podem prosperar em detrimento de espécies de sucessão tardia, que necessitam de microhabitats mais frios (Colwell *et al.*, 2008). Além das alterações na distribuição das espécies para altas latitudes e altitudes elevadas, há previsões de grande perda de área na distribuição futura das mesmas. Alterações antrópicas do habitat, mudanças nos padrões de uso da terra, e espécies invasoras podem agravar em muito esses efeitos (Bush *et al.*, 2008).

Os modelos de distribuição geográfica potencial de espécies (*spatial distribution model* – SDM), conhecidos também como modelos de nicho, são uma das melhores ferramentas atuais para prever mudanças induzidas pelo clima sobre a distribuição das espécies, em especial quando se trata de grandes conjuntos de dados (Pearson & Dawson 2003; Miles *et al.* 2004; Vale *et al.*, 2009). A ideia é associar ocorrências (e eventualmente não ocorrências) a dados ambientais a fim de construir um modelo do “nicho” da espécie que pode ser então projetado em outros ambientes (no tempo ou no espaço). Existem diversos métodos para produzir esses SDMs, indo desde métodos simples que estabelecem limites poligonais, métodos de distância, modelos lineares generalizados e não lineares, até métodos mais sofisticados de inteligência artificial (“machine-learning” techniques). De qualquer modo, os SDMs utilizados para estimar a distribuição geográfica partem do pressuposto de que as condições ambientais atuais determinam os padrões de ocorrência das espécies (Pearson & Dawson, 2003; Araujo & Pearson, 2005). Estes métodos usam dados empíricos para descrever e prever a ocorrência de espécies individuais, quantificando estatisticamente a amplitude do nicho (Dormann *et al.*, 2007). De maneira geral, todos esses métodos refletem o nicho potencial, e, portanto essas aproximações não levam em consideração outros fatores que podem afetar a distribuição geográfica das espécies. Por exemplo, distribuições geográficas podem ser superestimadas por efeito de ausência de dados relacionados à limitação de dispersão (tipo de dispersão, barreiras geográficas), interações das espécies (competição interespecífica), interações com outras espécies (competição, polinização, predação, patógenos) ou de fatores históricos (Araújo & Guisan, 2006).

Baseando-se nisso, Soberón (2007) relacionou a área de distribuição da espécie com a escala espacial e o tipo das variáveis ambientais, relatando que o intervalo de distribuição das espécies pode estar relacionado com seu nicho e estabelece uma relação com as variáveis ambientais. O sucesso da predição do SDM de distribuição biogeográfica em baixas resoluções sugere que, pelo menos em uma resolução espacial, a distinção é válida e útil. A comparação entre o fundamento da teoria *Grinneliana* (considera as condições ambientais em que uma espécie possa viver, definido fundamentalmente por variáveis não interativas) e os domínios *Eltonianos* (considera-se as interações bióticas e dinâmica de consumo de recursos) evidencia grandes diferenças. Vários conjuntos de dados de presenças das espécies e valores das variáveis estão disponíveis para aplicação do nicho *Grinneliano*, porém, pouca teoria foi desenvolvida explicitamente sobre isto. Por outro lado, não há dados disponíveis para o domínio muito mais dinâmico e complexo do nicho *Eltoniano*. O SDM neste estudo é baseado no conceito de nicho *Grinneliano* e pode produzir distribuição geográfica mais ampla que a observada na natureza. O nicho *Eltoniano*, embora claramente importante, é muito mais difícil de medir e modelar. No entanto, vale destacar que a inclusão de interações biológicas das espécies nos SDMs é um importante fundamento para investigação (Araújo & Luoto, 2007).

Recentemente, houve um aumento nos trabalhos que estimam a distribuição geográfica das espécies e calculam os nichos ambientais ou ecológicos (Guizan & Zimmermann, 2000; Guizan & Thuiller, 2005; Soberón, 2007; Buckley *et al.*, 2010). SDMs têm sido aplicados a uma variedade de questões de investigação (Richards *et al.*, 2007), principalmente, para prever mudanças na distribuição das espécies sob cenários futuros de mudanças climáticas (Erasmus *et al.*, 2002; Berry *et al.*, 2002; Midgley *et al.*, 2002; Araujo *et al.*, 2004; Elith *et al.*, 2006) e em gradientes de diversidade (Weins *et al.*, 2006). Enquanto para alguns grupos os últimos ciclos de diversificação correlacionam-se com alterações climáticas recentes, em outros, estas alterações pouco ou nada contribuíram para explicar padrões de riqueza e distribuição geográfica (Carnaval *et al.*, 2009).

Alguns estudos, tais como os de Pearson *et al.* (2002), Thuiller *et al.* (2006) e Araújo *et al.* (2006), projetaram mudanças potenciais na distribuição de plantas e/ou animais em função de mudanças climáticas na Europa. Evidenciando que os efeitos das mudanças climáticas são diferentes para cada espécie ou grupo estudado, que as mudanças na distribuição podem ser multidirecionais e temporalmente não lineares. Araújo & Pearson (2005) avaliaram diferenças no equilíbrio do clima atual e a distribuição de plantas vasculares, aves, anfíbios e assembléias de répteis também para a Europa, sugerindo que espécies com distribuições menores são mais vulneráveis às mudanças climáticas. Já Fyllas & Troumbis (2009) analisaram mudanças na dinâmica da vegetação em duas áreas montanhosas de Floresta do Mediterrâneo para dois cenários de mudanças climáticas (A1 e B2) do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), concluindo que áreas montanhosas mais secas são mais propensas à alteração de composição. Grupos de mamíferos foram projetados para a África (Thuiller *et al.*, 2006) e para a fauna do México (Peterson *et al.*, 2002). Em geral, estes dois últimos estudos concluem que os efeitos das mudanças climáticas geram perda de espécies e mudança na composição fundamental das comunidades. Enfim, é provável, que várias espécies sofram mudanças relativamente grandes em suas distribuições durante o próximo século.

A validade dos SDMs vem sendo debatida (Davis *et al.* 1998; Pearson & Dawson 2003; Thuiller, 2004; Hampe, 2004; Ibanez *et al.*, 2006; Araújo & Rahbek 2006). Entretanto, se os modelos forem aplicados com cautela, esses SDMs podem ser vistos como uma primeira aproximação útil do impacto potencial da mudança climática sobre a distribuição das espécies. Araújo *et al.* (2005) projetaram distribuições futuras de 116 espécies de aves britânicas, com dados observados nos últimos 20 anos a diferentes parâmetros climáticos para avaliarem quanto uma análise particular contribui para prever eventos futuros e qual a precisão predita pelos SDMs. Os resultados do estudo geraram estimativas otimistas com a predição dos métodos, embora concluíssem que a validação não prediz se um método é válido para uma aplicação particular. Um SDM pode utilizar parâmetros que são pertinentes aos processos subjacentes que afetam as distribuições das espécies, mas seu desempenho de predição pode ser anulado por processos em diferentes escalas temporais ou espaciais. Os autores afirmam

que a validação mal sucedida nem sempre significa que um método está errado, e que SDMs que usam dados históricos podem capturar com maior precisão a mudança nas distribuições das espécies.

Diferentes SDMs podem apresentar previsões divergentes, essa variabilidade nas previsões não é surpreendente, dado que os SDMs são correlativos e, portanto, sensíveis aos dados e as funções matemáticas utilizadas para descrever a distribuição de espécies em relação aos parâmetros do clima. Além disso, a teoria implícita aos SDMs assume que a distribuição das espécies é determinada, em grande parte, por variáveis ambientais, e que estes modelos são robustos a incertezas (aproximações) associadas a estas variáveis (Austin, 2007). Entretanto, tais aproximações não são apropriadas quando os dados disponíveis são limitados (Pearson *et. al*, 2007), pois essa estimativa não incorpora componentes bióticos e processos históricos/espaciais (Lim *et al.*, 2002; Pearson & Dawson, 2003). As estimativas das distribuições das espécies no âmbito de mudanças climáticas podem apresentar resultados diferentes dependendo do método, do modelo climático e do cenário usado para análise, resultando em fontes de incertezas provenientes dos dados ambientais, dos dados das espécies e das técnicas utilizadas para o processo de modelagem (Stainforth *et al.*, 2005; Araújo & New, 2007). Além disto, estas incertezas podem também ser provenientes do acúmulo de projeções para um grande número de espécies, com a necessidade de uma série de cenários de mudanças climáticas (Thuiller, 2004).

Uma solução metodológica para o problema de incertezas dos processos de modelagem é o uso de vários SDMs dentro de um quadro de “ensemble forecasting”, pois ao combinar os resultados de dois (ou mais) métodos, distintos em sutilezas de algoritmo e método, podem-se obter resultados mais “robustos” ou com probabilidade de erro menor (Araújo & New, 2006; ver também Marmion *et al.*, 2009; Diniz Filho *et al.*, 2009, 2010). Diniz-Filho *et al.* (2010) propuseram que a idéia de “ensemble forecasting” pode ser dividida em 3 fases, incluindo: I) a simples sobreposição dos mapas provenientes de diversos métodos, cenários ou modelos climáticos; II) a avaliação das diferenças entre os mapas utilizando técnicas de análise multivariada e; III) a avaliação quantitativa das magnitude do efeito das fontes de variação sobre a variância nas predições, especialmente

estruturada. Utilizando a idéia de “ensemble forecasting”, os efeitos das mudanças climáticas podem ser estruturados na vegetação do Cerrado em diferentes níveis hierárquicos.

Padrões de Mudança Climática no Cerrado

O Cerrado ocupa a região central do Brasil em um total, originalmente, de 2 milhões de km², representando cerca de 23% da superfície terrestre brasileira (Ratter *et al.*, 1997). Este bioma é muito rico em espécies de plantas e animais (Klink & Machado, 2005), com uma alta diversidade beta, especialmente devido à variação na densidade de espécies entre locais (Felfili *et al.*, 2004). Sua área inclui uma diversidade ambiental elevada de tipos de solo, de geologia, de dados geomorfológicos e de clima, além de conter uma grande heterogeneidade de tipos da vegetação (Silva *et al.*, 2005).

O bioma Cerrado é bastante variável em sua fisionomia, há uma grande diversidade de paisagens e um mesmo tipo de vegetação pode ter padrões distintos de composição florística (Felfili *et al.*, 2004). A modificação e as ameaças em grande escala da paisagem às numerosas espécies conduziram ao interesse renovado em promover a conservação do Cerrado (Klink & Machado, 2005), o qual foi considerado como um dos mais ricos e ameaçados ecossistemas mundiais, ou seja, um *hotspot* de prioridades de conservação da biodiversidade (Myers *et al.*, 2000).

Existem trabalhos que aplicaram técnicas de modelagem em comunidades de plantas no Cerrado para avaliar os efeitos de mudança climática na distribuição futura das espécies (Siqueira & Peterson, 2003) e outros estudos que projetaram SDMs e sua relação com o clima para a distribuição geográfica das comunidades de vegetação na América do Sul (Salazar *et al.*, 2007). Salazar *et al.* (2007), utilizaram o SDMs de vegetação proposto por Oyama & Nobre (2004), que utiliza variáveis produzidas mediante um modelo de balanço hídrico. Entre estas variáveis está a temperatura do mês mais frio, um índice hídrico (que permite diferenciar entre climas úmidos e secos) e um índice de seca (que

representa a sazonalidade da umidade do solo). Este modelo foi utilizado para prever a ocorrência de um bioma. Os resultados do estudo de Salazar *et al.* (2007) mostram que sob cenários de mudanças climáticas, o bioma Cerrado avançará sobre partes da Amazônia (savanização da Amazônia) e desertificação do Nordeste brasileiro. Na escala regional, não só o clima determina a distribuição da vegetação, mas também outros processos como o tipo de solo, a topografia e a ocorrência de queimadas.

OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo elucidar os efeitos das mudanças climáticas na vegetação do Cerrado analisando diferentes níveis hierárquicos. Especificamente, buscando responder às seguintes questões:

i) Existe uma concordância hierárquica no deslocamento das distribuições futuras do bioma Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do bioma? Ou seja, a magnitude do deslocamento do bioma Cerrado em função de mudanças climáticas pode ser considerada uma consequência do deslocamento individual de cada região fitoecológica ou de cada espécie. Existindo assim concordância entre a projeção de SDMs do bioma e as projeções de SDMs das regiões fitoecológicas ou das projeções de SDMs das espécies?

Espera-se que a projeção de deslocamento do bioma baseada nos SDMs seja uma soma das projeções dos SDMs individuais, mas uma ausência de correspondência implica que: (1) ou os SDMs são falhos, em um dos níveis, ou; (2) que existem propriedades das espécies que mudam e criam propriedades emergentes.

ii) Considerando o efeito das mudanças climáticas, há mudança no atual padrão espacial da riqueza de espécies em relação à distribuição cenários futuros?

Espera-se que as mudanças climáticas alterem os padrões de riqueza ao longo das distribuições e que diminuam o “pool” de espécies, ou seja, que ocorra extinção de espécies.

iii) Quais os principais efeitos das mudanças climáticas nas distribuições futuras do bioma Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do bioma?

Espera-se que as mudanças climáticas direcionem o padrão de distribuição das espécies para altas latitudes, que ocorra perda de área e/ou eventos de fragmentação de habitat.

METODOLOGIA

Dados

O mapa de vegetação do Cerrado, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006), foi considerado para determinar a distribuição da cobertura vegetal atual do bioma Cerrado (Figura 01).



Figura 01: Mapa da distribuição atual do bioma Cerrado.

O dado utilizado para determinar as regiões fitoecológicas (fitofisionomias) do Cerrado foi o mapa de mosaicos da vegetação do Cerrado, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006), o qual define e identifica todas as regiões fitoecológicas do bioma Cerrado e classifica-as em dois grupos principais de cobertura vegetal: antrópica e natural (Figura 02).

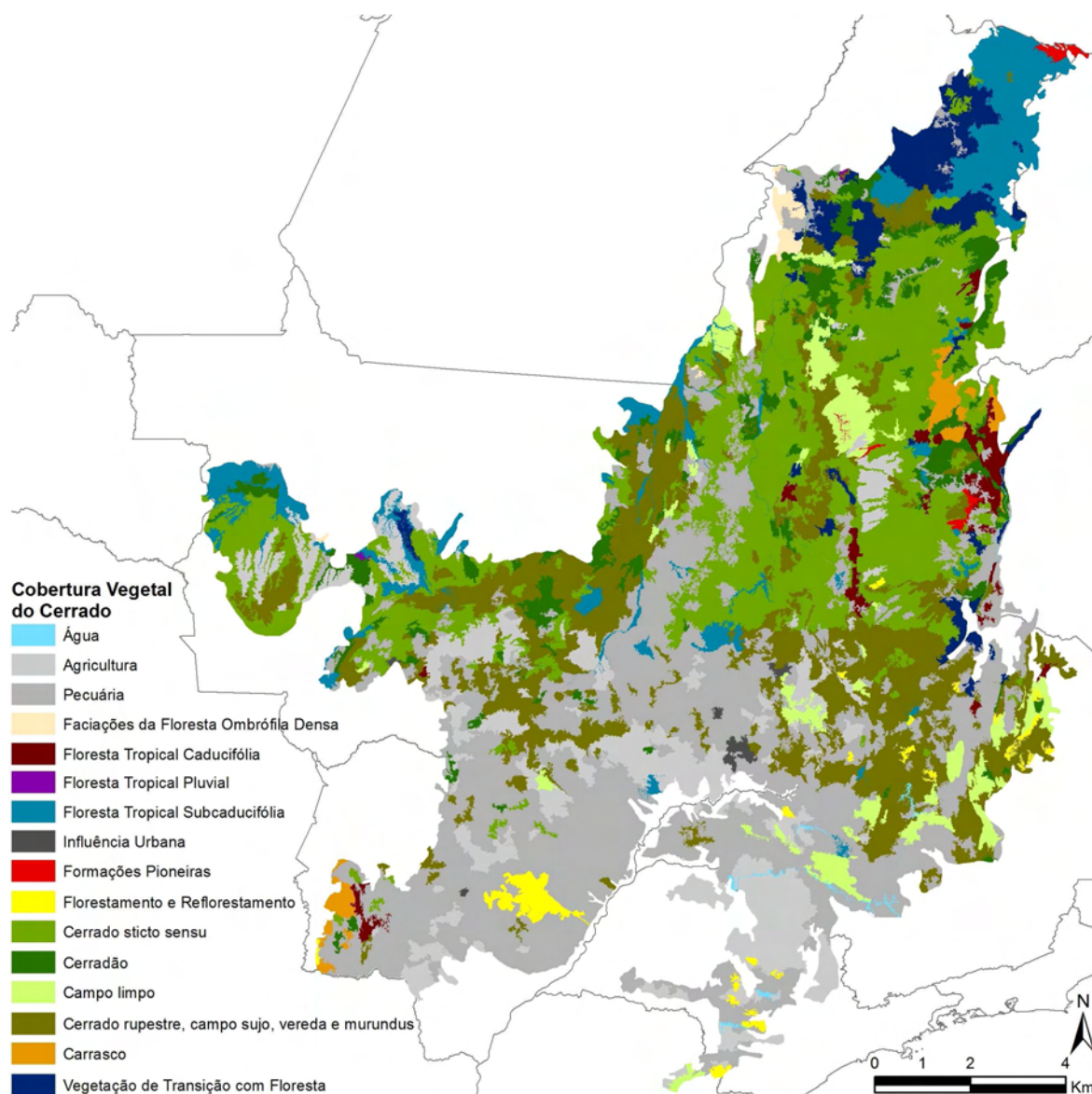


Figura 02: Mapa de cobertura vegetal do bioma Cerrado, fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006), disponível em http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf/vegetacao/mosaico_cobvegA0.pdf para maiores detalhes.

O conceito utilizado para o termo “cobertura vegetal natural” compreende as regiões que apresentam vegetação original, independentemente da existência ou não de algum tipo de uso antrópico (para maiores detalhes, ver Probio, 2004).

Foram utilizadas apenas as classes de cobertura vegetal natural, sendo que as mesmas e as respectivas siglas encontram-se na tabela 01.

Tabela 01: Classes de cobertura vegetal natural das regiões fitoecológicas do Cerrado, determinadas pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2006).

Regiões Fitoecológicas	Nível de Formação	Classificação MMA	Vegetação correspondente
Floresta Estacional Decidual	Terras Baixas	Cb	Floresta Tropical Caducifólia
	Montana	Cm	
	Submontana	Cs	
Floresta Estacional Semidecidual	Montana	Fm	Floresta Tropical Subcaducifólia
	Submontana	Fs	
	Aluvial	Fa	
	Terras Baixas	Fb	
Floresta Ombrófila Aberta	Aluvial	Aa	Faciações da Floresta Ombrófila Densa
	Montana	Am	
	Submontana	As	
Floresta Ombrófila Densa	Aluvial	Da	Floresta Tropical Pluvial
	Submontana	Ds	
Savanas	Arborizada	Sa	Cerrado <i>stricto sensu</i>
	Florestada	Sd	Cerradão
	Parque	Sp	Cerrado rupestre, campo sujo, vereda e murundus
	Gramineo-Lenhosa	Sg	Campo limpo
Savana Estépica	Arborizada	Ta	Carrasco
	Florestada	Td	
	Parque	Tp	
	Gramineo-Lenhosa	Tg	
Vegetação Secundária	Área em regeneração	Vs	Transição com Amazônia

A lista de espécies de plantas do Cerrado analisada foi definida a partir da lista de espécies vegetais úteis do Cerrado disponível em Almeida *et al.* (1998) e da lista de espécies dominantes do Cerrado em Ratter *et al.* (2006). Desse modo, foram listadas 174 espécies de plantas do Cerrado (Anexo 01), sendo algumas endêmicas ao bioma. A revisão de nomenclatura e sinonímia foi verificada no website do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Forzza *et al.*, 2010). Duas espécies da lista de Almeida *et al.* (1998) foram excluídas por não ocorrerem no Cerrado tal qual definido no presente estudo (*Borreria verbenoides* Cham. & Schlttdl. e *Dorstenia asaroides* Gardner ex Hook.).

A partir da lista das espécies, realizaram-se pesquisas de ocorrências geográficas das espécies em banco de dados online: *Species Link* (<http://splink.cria.org.br/>), *Royal Botanic Gardens* (<http://www.kew.org/index.htm>), *Global Biodiversity Information Facility* (<http://www.gbif.org/>). Adicionalmente, essa

busca foi complementada com o banco de dados de Oliveira-Filho & Ratter (1994) e com revisões da literatura científica no website do *Web of Science* (<http://www.isiknowledge.com/>), utilizando como critério de busca o nome da espécie.

As variáveis ambientais utilizadas para modelar a distribuição das espécies foram: precipitação média anual, temperatura máxima do mês mais quente e temperatura mínima do mês mais frio. Como fonte de dados para estes fatores climáticos, utilizou-se essas variáveis ambientais compiladas a partir do banco de dados *Worldclim* (disponível em www.worldclim.org) para as condições atuais e para cenário futuro do ano de 2080 (média do intervalo entre os anos de 2070 e 2099). As condições climáticas no futuro foram obtidas para as 3 variáveis a partir de três modelos de circulação geral oceano-atmosfera (AOGCMs): *Canadian Centre for Climate Modelling Analysis* (CCCMA), *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO) e *Hadley Centre for Climate Predictions and Research's General Circulation Model* (HADCM3).

Como o objetivo do trabalho foi avaliar a estrutura hierárquica das respostas da distribuição às mudanças climáticas, esses dados foram obtidos apenas para o cenário A2 que, em geral, é um cenário mais drástico e reflete um mundo onde a população mundial vai aumentar significativamente para atingir emissões médio-altas de gases de efeito estufa neste cenário (IPCC, 2000).

Modelos de Distribuição Potencial e Resposta Hierárquica da Distribuição

Inicialmente, dividiu-se a América do Sul em 25.018 células de 0,25 x 0,25 graus de resolução espacial (Figura 03).



Figura 03: Mapa da América do Sul dividido em 25.018 células de 0,25 x 0,25 graus.

Posteriormente, os pontos de ocorrências geográficas das espécies, bem como os mapas da distribuição atual do Cerrado e das regiões fitoecológicas do

Cerrado foram sobrepostos a essa grid. A partir desta sobreposição, foram calculadas as presenças, em cada célula da grid, do bioma Cerrado, de cada região fitoecológica e de cada espécie. Seguindo o conceito de pontos únicos (McPherson & Jetz, 2007), que utiliza apenas um registro de ocorrência da espécie/distribuição na mesma área (célula). Ou seja, é gerada uma tabela de presença e ausência para todas as espécies, todas as regiões fitoecológicas e para o bioma em cada célula da grid. Esta tabela possui 25.018 linhas (que corresponde às células da grid) e 187 colunas (174 espécies, doze regiões fitoecológicas e um bioma).

Por meio da utilização de métodos de modelagem de distribuição potencial é possível interpretar melhor os processos ecológicos e evolutivos associados às variações das características das espécies, além da possibilidade de utilização desses métodos para avaliar a resposta das espécies frente a mudanças climáticas. Metodologias de “ensemble forecasting” (Araújo & New, 2007) foram implementadas seguindo a metodologia descrita por Diniz Filho *et al.*, (2009), através do programa “BioEnsembles”. Procedimentos computacionais intensivos foram utilizados, juntamente com o cenário A2, formulado pelo IPCC, para gerar a distribuição geográfica potencial do Cerrado, das regiões fitoecológicas e das espécies neste cenário futuro. O programa “BioEnsembles” incorpora um gama de SDMs aos modelos climáticos para cenários futuros e as variáveis ambientais atuais para avaliar cada AOGCM, obtendo um padrão esperado de distribuição do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies.

Estão disponíveis no programa “BioEnsembles” um total de 11 SDMs, mas neste trabalho foram utilizados cinco métodos, que são conceitualmente e estatisticamente diferentes (Segurado & Araújo, 2004): BIOCLIM, *Maximum Entropy* (Maxent) (Phillips *et al.*, 2006), *Genetic Algorithm for Rule Set Production* (GARP) (Stockell & Noble, 1992), Distância de Mahalanobis e Distância Euclidiana (Farber & Kadmon, 2003). Algoritmos que necessitam da ausência absoluta, como *Generalized Linear Model* (GLM), *Generalized Additive Models* (GAM), *Multivariate Adaptive Regression Splines* (MARS) e *Random Forest* (RF), não foram aplicados, pois os dados de presença das espécies foram obtidos a partir de pontos e não da extensão de ocorrência, assim as ausências são

incluídas nos métodos através da amostragem dos pontos de pseudo-ausência do conjunto de células em que a espécie não foi detectada.

Os dados de presença de cada espécie foram divididos aleatoriamente, sendo definidos 75% dos dados de presença para calibração dos métodos e os outros 25% para sua validação (*cross-validation*), sendo este processo repetido 50 vezes. Aplicaram-se todas as possíveis combinações de variáveis climáticas descritas acima ($2^n - 1$, onde "n" é o número de variáveis), de modo que, para cada espécie, tem-se um número final de 350 combinações, referindo-se à multiplicação de 50 repetições de *cross-validation* por sete combinações possíveis de variáveis climáticas.

Os resultados apresentados a seguir representam uma combinação das adequabilidades de presenças previstas para cada espécie e em cada célula da grid, ponderando pelo ajuste de cada um dos cinco SDMs (BIOCLIM, Maxent, Garp, Distância de Mahalanobis e Distância Euclidiana), para cada combinação de modelo climático (CCCMA, CSIRO e HADCM3), com o cenário de emissão (A2) e para o ano de 2080. Esta combinação das probabilidades é convertida em valores de distribuição de frequência. Utilizando a métrica *True Skill Statistics* (TSS) (Allouche *et al.*, 2006) e o *consensus threshold* de 0.5, o programa "BioEnsembles" gera um resultado de presença e ausência para cada espécie e em cada célula da grid, tanto no presente (predito pelo método) quanto no futuro.

Com o resultado apresentado acima, a distribuição futura pode ser projetada, sob os efeitos das mudanças climáticas, preditas pelos métodos para o bioma do Cerrado, para as regiões fitoecológicas e para cada espécie. Para associar as diferentes respostas de distribuição futura (bioma, regiões fitoecológicas e espécies) e comparar se houve mudanças no padrão de distribuição em diferentes níveis da hierarquia ecológica, primeiramente, foi projetada a distribuição futura do bioma e, em seguida, as projeções da distribuição futura de todas as regiões fitoecológicas foram sobrepostas. Por último, as projeções da distribuição futura de todas as espécies foram sobrepostas. Estas duas últimas projeções (combinação das distribuições futuras das regiões fitoecológicas e combinação das distribuições futuras das espécies) foram associadas e comparadas com a resposta de distribuição futura do bioma.

Espera-se que a projeção da distribuição do bioma seja uma sobreposição das projeções das distribuições individuais, mas uma ausência de correspondência implica que ou os métodos são falhos, em um dos níveis, ou que há propriedades das espécies que mudam e criam propriedades emergentes.

Deslocamento da Distribuição ou Vetores de Deslocamento

Com os dados de presença e ausência por célula, as distribuições atual e futura previstas pelos SDMs foram projetadas para cada espécie, região fitoecológica e para o bioma Cerrado como um todo. Em seguida, foi possível calcular o centróide de cada distribuição (atual e futura), extrair a posição geográfica (latitude e longitude) do centróide, a distância e o ângulo de deslocamento entre o centróide da distribuição atual e da distribuição futura, ou seja, o deslocamento que cada distribuição futura teve em relação ao presente.

Inicialmente, aplicou-se a distância e o ângulo de deslocamento entre os centróides em um sistema de coordenadas cartesiano, e assim, através das fórmulas de seno e cosseno, pode-se calcular o tamanho e a direção do vetor no plano (considerando que o ponto de origem da abscissa x e da ordenada y seja igual a zero). Por exemplo: para uma espécie com angulação maior que 270 graus, um dos ângulos do triângulo retângulo será 360 graus menos o ângulo de deslocamento; a distância entre cada centróide é a hipotenusa; o cateto oposto será o valor de y e o cateto adjacente será o valor de x .

A função “arrows” do programa R (www.r-project.org/ - R Development Core Team, 2010), foi utilizada para gerar um mapa com os vetores de deslocamento para o bioma, para cada região fitoecológica e para cada espécie no plano cartesiano. Dados de entrada da função no R: *arrows* (x_0 , y_0 , X , Y , *length*), onde x_0 é o ponto de origem em x (zero); y_0 é o ponto de origem em y ; X é o valor na abscissa; Y é o valor na ordenada e *length* é o tamanho da seta no final do vetor (0.08).

Com os vetores de deslocamento, pode-se visualizar o deslocamento das distribuições futuras, sob os efeitos das mudanças climáticas, predito pelos SDMs

do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies. Foi avaliado, visualmente, se o efeito das mudanças climáticas acarretará o avanço do bioma Cerrado para a região da Amazônia, como predito pelo estudo de Salazar *et al.* (2007).

Deslocamento das Espécies em Relação aos seus Habitats

A partir da análise anterior, visualizou-se em qual direção será o deslocamento da distribuição futura do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies. Entretanto, não se sabe se o deslocamento da distribuição futura das espécies possui o mesmo tipo de resposta em relação à região fitoecológica na qual está inserida. Por exemplo, uma espécie que ocorre em ambiente de cerrado *stricto sensu* se deslocará para a mesma direção que a região fitoecológica cerrado *stricto sensu*?

Sano *et al.* (2008) fizeram um estudo de *checklist* para 12.356 espécies de plantas vasculares do Cerrado, fornecendo o hábito da espécie e os ambientes onde ocorre. A partir do estudo de Sano *et al.* (2008), determinou-se em qual ambiente (região fitoecológica) cada espécie ocorre. No entanto, não foi possível classificar o ambiente de uma espécie (*Pterodon apparicio*), por não estar presente no estudo de Sano *et al.* (2008), de modo que esta espécie foi retirada dessa análise.

Para avaliar se as espécies tiveram a mesma direção de deslocamento em relação às regiões fitoecológicas que se inserem, aplicou-se um teste-t pareado entre o valor do ângulo de deslocamento de cada espécie e o ângulo de deslocamento da região fitoecológica que a espécie ocorre.

Padrões de Diversidade (ou riqueza)

Somando a presença das espécies por célula, é possível calcular a riqueza ou diversidade alfa em cada célula. Após este cálculo, aplicou-se teste-t pareado com as diversidades atual e futura preditas pelos métodos em cada célula, para

analisarmos se houve um aumento ou uma perda de diversidade local (diversidade por célula). Também, foi possível gerar mapas da riqueza das espécies no cenário atual, futuro e a diferença entre elas utilizando o software SAM (*Spatial Analyses in Macroecology*; Rangel *et al.*, 2010).

Perda de Área e Fragmentação

Através das projeções das distribuições de cada espécie, foi possível analisar a quantidade de fragmentos na distribuição atual e futura de cada espécie e a área de cada fragmento. Essas informações foram obtidas com a utilização do software IDRISI (<http://www.idrisi.com.br/> - Eastman, 2009). Com a média do número de fragmentos das distribuições (atual e futura) de cada espécie e a média da área de cada fragmento das distribuições (atual e futura) das espécies, aplicaram-se testes-t pareado, utilizando as espécies como critério de pareamento em ambas as análises. A primeira análise foi baseada no número de fragmentos da distribuição atual das espécies e no número de fragmentos da distribuição futura das espécies, já a segunda análise foi baseada na média da área de cada fragmento da distribuição atual das espécies e a média da área de cada fragmento da distribuição futura das espécies.

RESULTADOS

Baseando-me nos mapas de (1) distribuição futura do bioma, (2) soma das distribuições futuras das regiões fitoecológicas e (3) soma das distribuições futuras das espécies, observa-se que houve uma concordância em relação à distribuição e à direção das distribuições (Figuras 04 e 05), ou seja, tanto o bioma, quanto as regiões fitoecológicas e as espécies responderam de modo semelhante aos efeitos de mudanças climáticas.



Figura 04: Projeção da distribuição do bioma Cerrado no futuro predito pelos SDMs (cinza escuro) e soma das projeções das distribuições futuras das regiões fitoecológicas preditas pelos SDMs (cinza claro), segundo as simulações conduzidas por meio do programa “BioEnsembles”.

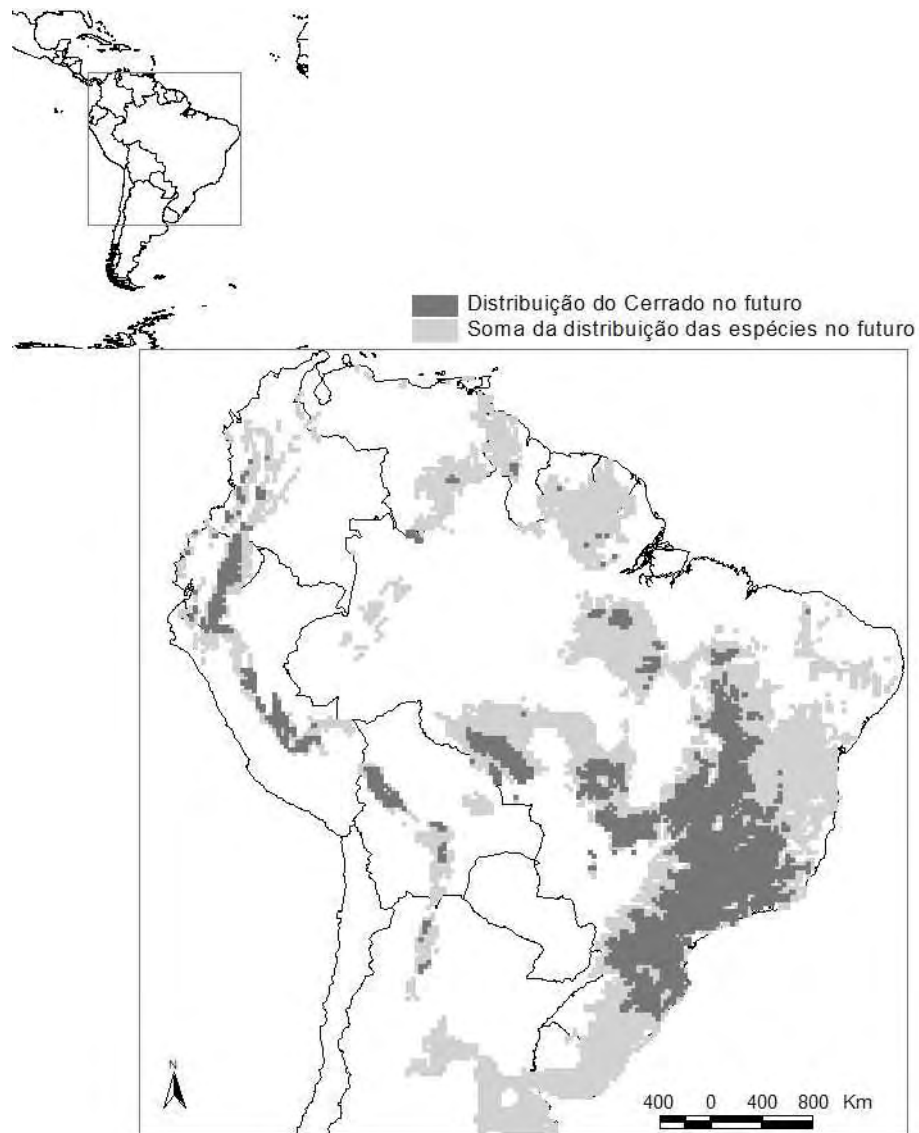


Figura 05: Projeção da distribuição do bioma Cerrado no futuro predito pelos SDMs (cinza escuro) e soma das projeções das distribuições futuras das espécies preditas pelos SDMs (cinza claro), segundo as simulações conduzidas por meio do programa “BioEnsembles”.

Considerando os vetores de deslocamento das distribuições futura do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies, observa-se que houve uma semelhança no deslocamento em direção à região sul do Brasil, sendo que a grande maioria das espécies, das regiões fitoecológicas e, também, o bioma deslocaram-se para a região sudeste (Figura 06).

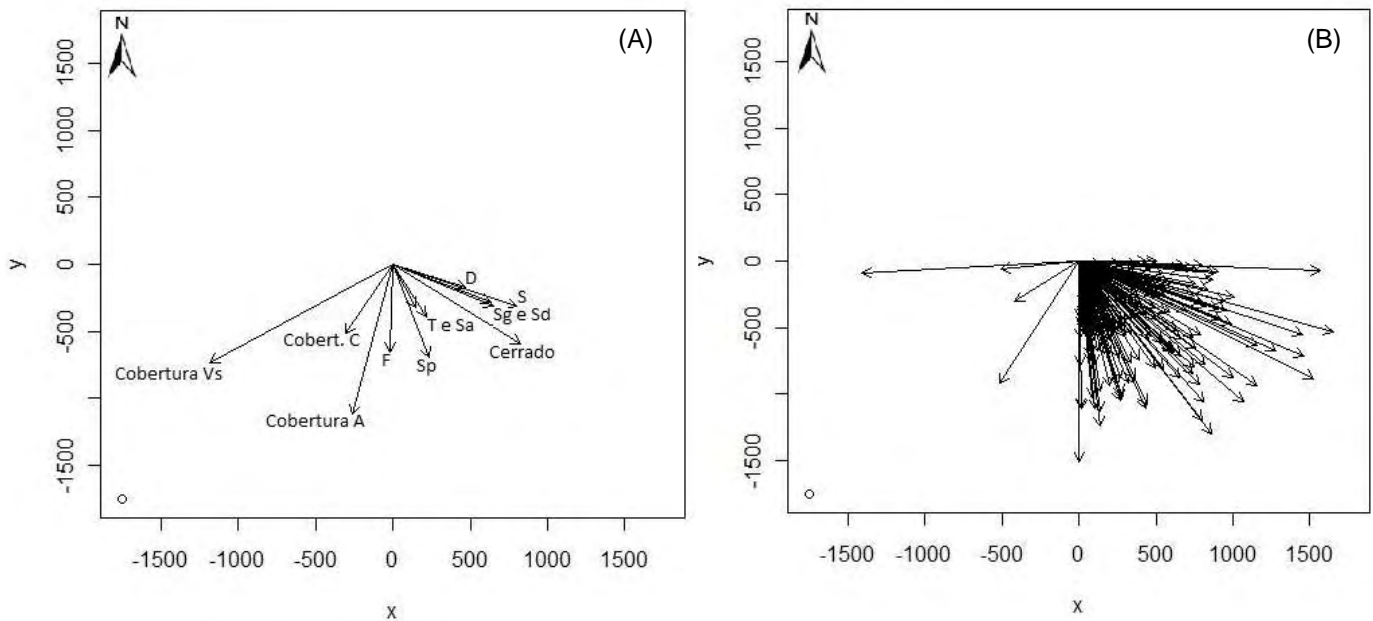


Figura 06: (A) Vetores de deslocamento das coberturas vegetais determinadas pelo Ministério do Meio Ambiente (regiões fitoecológicas) e do bioma Cerrado. **Cobertura Vs:** Transição com Amazônia; **Cobertura C:** Floresta Tropical Caducifólia; **Cobertura A:** Faciões da Floresta Ombrófila Densa; **F:** Floresta Tropical Subcaducifólia; **T:** Carrasco; **Sp:** cerrado rupestre, campo sujo, vereda e murundus; **Sa:** cerrado s.s.; **Sg:** Campo limpo; **Sd:** Cerradão; **D:** Floresta Tropical Pluvial; **S:** savanas em geral (agrupa Sa, Sd, Sg e Sp). **(B)** Vetores de deslocamento das espécies de plantas do Cerrado. As quatro setas que deslocaram para região sudoeste referem-se as seguintes espécies: *Pterodon abruptus* (Moric.) Benth., *Lychnophora ericoides* Mart., *Hirtella ciliata* Mart. & Zucc. e *Lamanonia tomentosa* (Cambess.) Kuntze. A unidade de medida utilizada nos gráficos está em metros, tanto para o eixo x quanto para o eixo y.

Uma melhor avaliação visual da correspondência entre os padrões de distribuição, em diferentes níveis hierárquicos, pode ser feita por meio dos vetores médios do deslocamento de todas as espécies e das regiões fitoecológicas com características de savana (cerrado s.s.; campo limpo; cerrado rupestre, campo sujo, murundus e carrasco; sistema proposto por Ribeiro & Walter, 1998) (Figura 07).

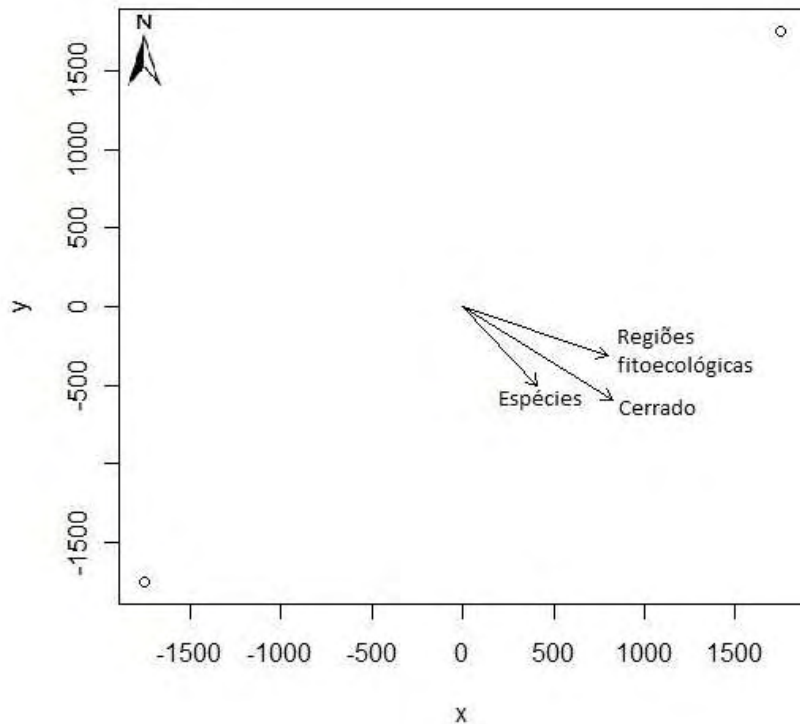


Figura 07: Vetor do deslocamento médio de todas as espécies, vetor do deslocamento médio de algumas regiões fitoecológicas (cerrado s.s.; campo limpo; cerradão; cerrado rupestre, campo sujo, veredas, murundus e carrasco) e vetor de deslocamento do bioma Cerrado, para cenário futuro segundo simulações conduzidas por meio do “BioEnsembles”. A unidade de medida utilizada nos gráficos está em metros, tanto para o eixo x quanto para o eixo y.

Comparando o deslocamento da distribuição futura da espécie e o deslocamento da distribuição futura da região fitoecológica na qual a espécie ocorre, não é possível detectar diferenças significativas entre as médias de deslocamento ($t = 0.451$, g.l. = 172, $p = 0.652$), ou seja, não houve variação na resposta de deslocamento das espécies e da região fitoecológica onde as espécies estão inseridas (figura 08).

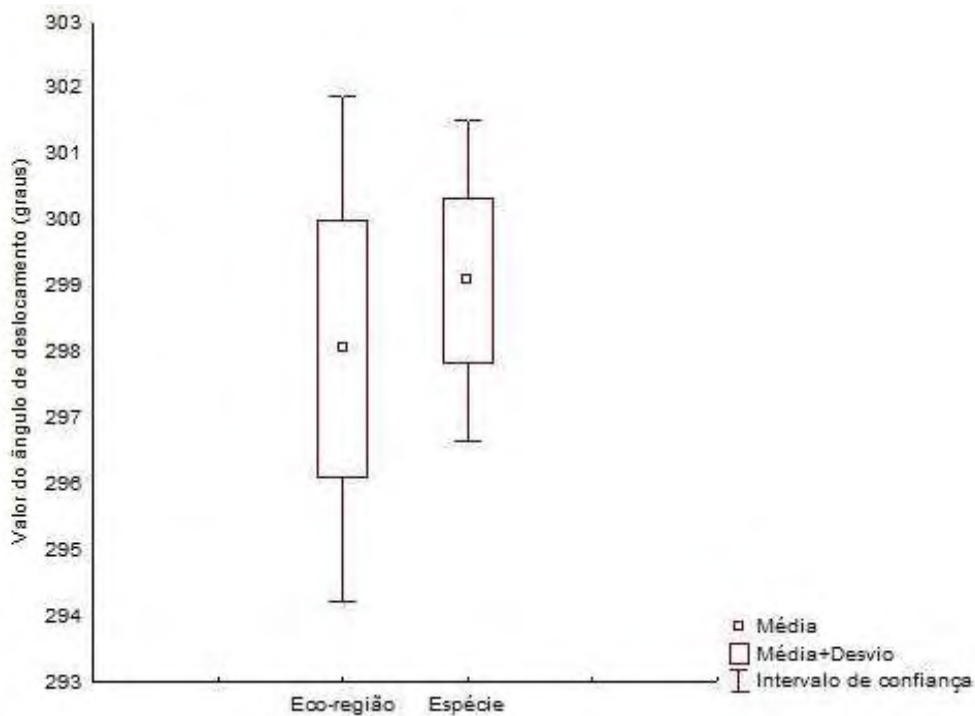


Figura 08: Diferença entre as médias dos ângulos de deslocamento da espécie e da região fitoecológica que ela ocorre.

Em geral, houve grande perda de riqueza local (Figura 09), mas quando se observa a diferença entre a diversidade local atual e a futura (Figura 10), é possível perceber que um ganho de diversidade na região sudeste do Brasil. O teste-t pareado comparando a riqueza atual e a riqueza futura em cada célula revelou diferenças nos padrões de diversidade ($t = 82.033$, g.l. = 16.610, $p < 0.01$), ou seja, há um efeito da mudança na distribuição das espécies ao longo das variações climáticas. Este efeito pode ser visualizado e avaliado através dos mapas de diversidade atual, diversidade futura e da diferença entre a diversidade predita atual e diversidade predita futura.

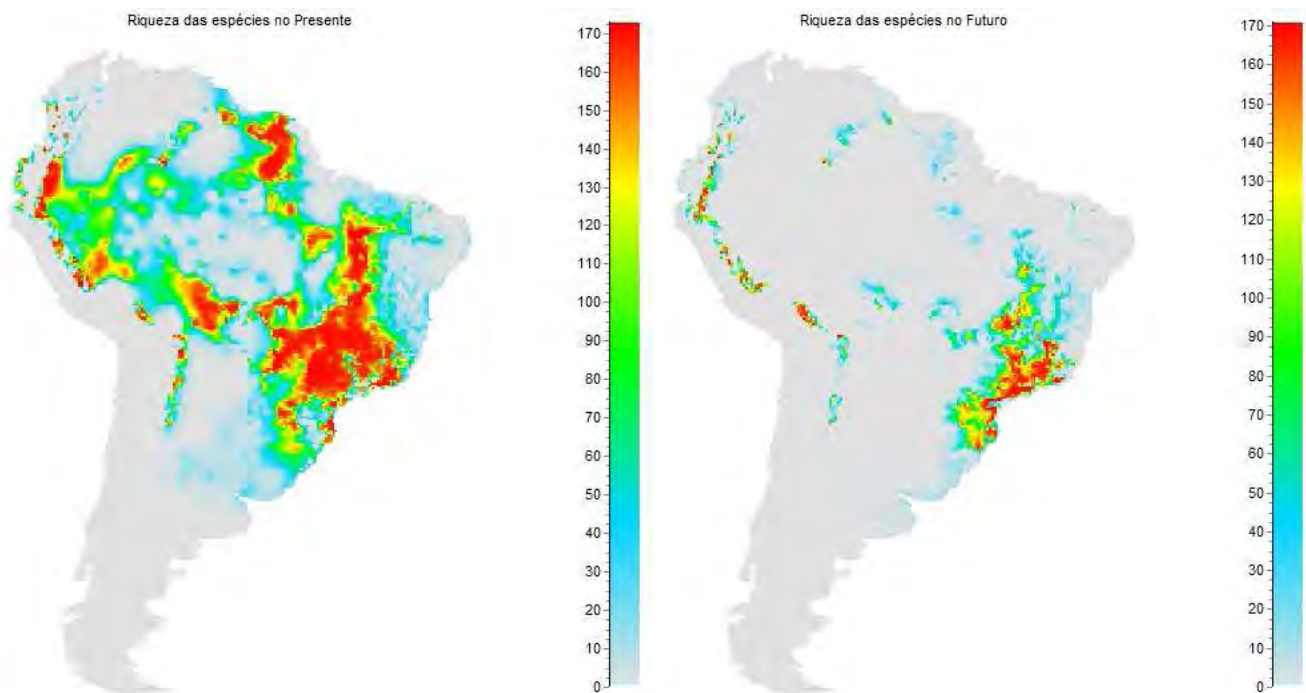


Figura 09: (A) Diversidade atual, segundo as simulações conduzidas no programa “BioEnsembles”, das espécies de plantas do Cerrado por célula. **(B)** Diversidade futura, segundo as simulações conduzidas no programa “BioEnsembles”, das espécies de plantas do Cerrado por célula. Resolução da célula de 0,25 x 0,25 graus.

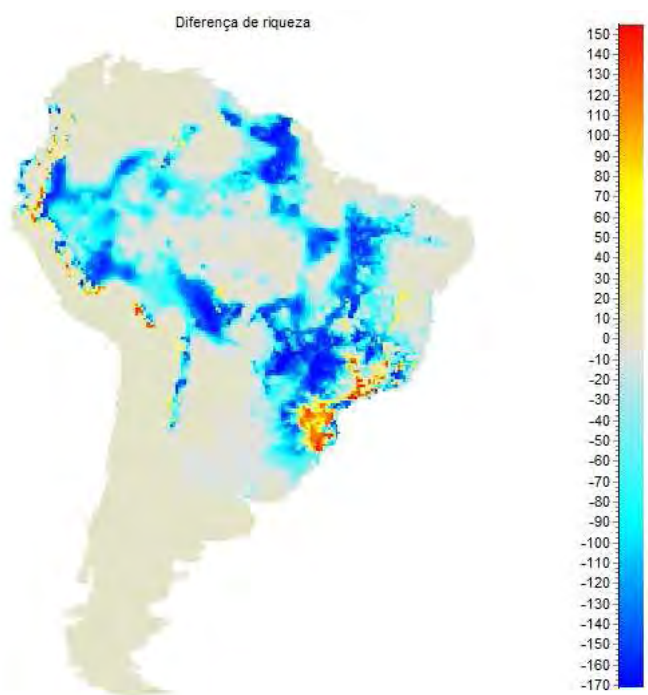


Figura 10: Diferença, por célula, da diversidade atual predita e futura das espécies de plantas do Cerrado. Resolução da célula de 0,25 x 0,25 graus.

Considerando o número de fragmentos das distribuições atual e futura das espécies, houve diferença significativa entre as médias ($t = -27.545$, g.l. = 173, $p < 0.01$) (Figura 11). Pela comparação da área média de cada fragmento das distribuições atual e futura das espécies, também houve diferença significativa entre as médias ($t = -13.8$, g.l. = 173, $p < 0.01$) (Figura 12). Para as espécies houve uma redução no número de fragmentos e na área destes, ou seja, as espécies podem sofrer perdas de hábitat no futuro. Embora os resultados apontem para esta perda de área, nenhuma espécie foi extinta para as previsões futuras.

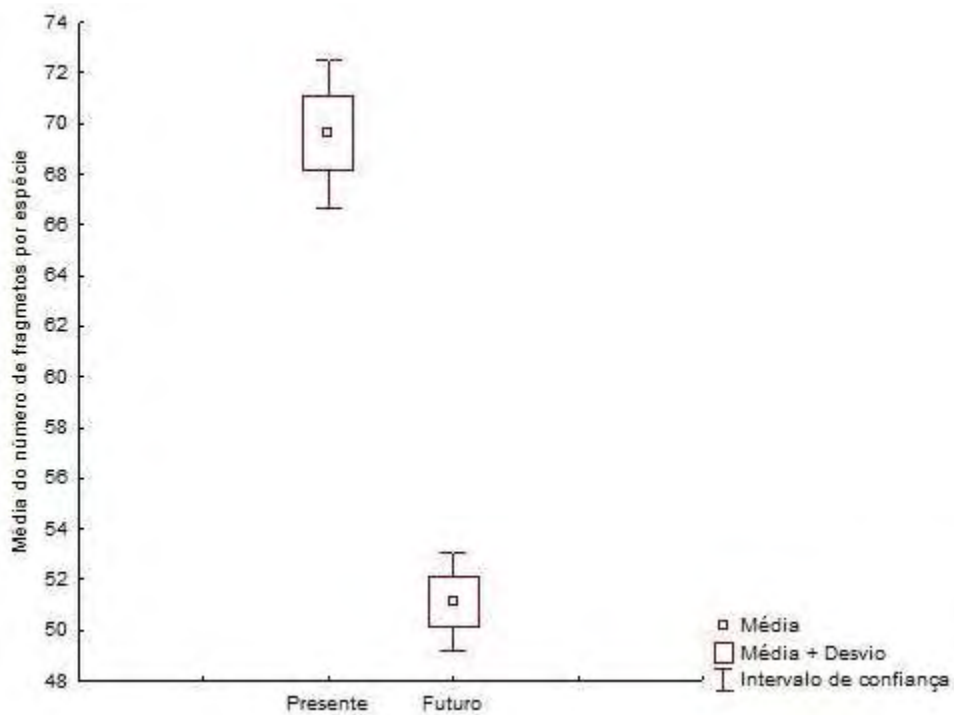


Figura 11: Diferenças no número médio de fragmentos das espécies entre a distribuição atual das espécies e a distribuição futura.

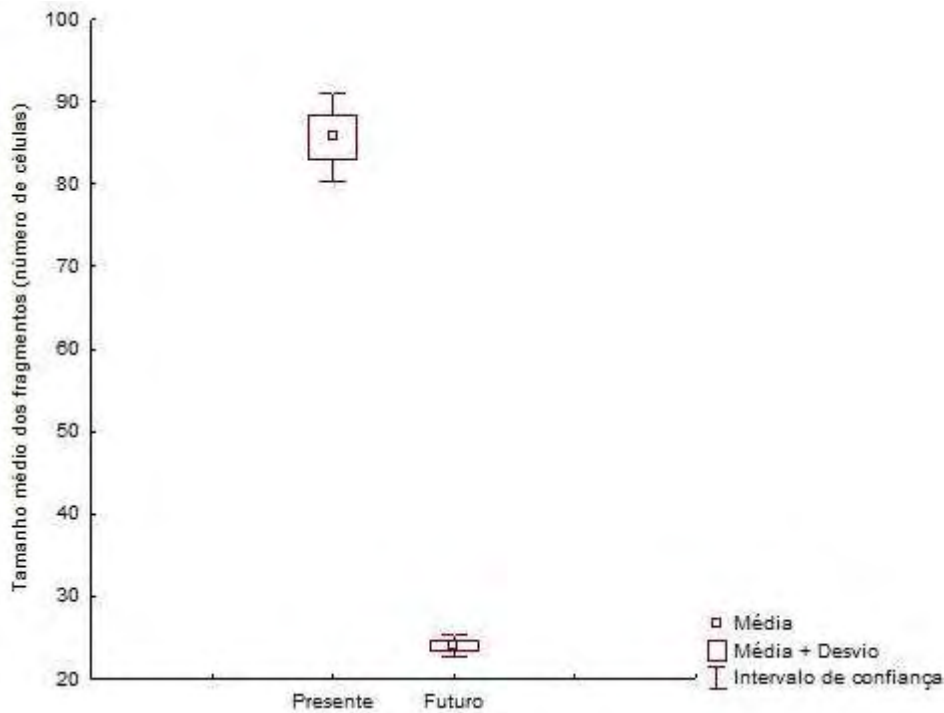


Figura 12: Diferenças entre a área média dos fragmentos da distribuição atual das espécies e da distribuição futura.

DISCUSSÃO

Este estudo demonstrou que não existe uma estrutura hierárquica na resposta da distribuição vegetacional frente às previsões de mudanças climáticas para o ano de 2080 no Cerrado brasileiro. Ou seja, a distribuição tanto do bioma, como das regiões fitoecológicas e das espécies responderam de modo semelhante ao efeito das mudanças climáticas. Em geral, nas três escalas estudadas as respectivas distribuições deslocam-se para o sudeste do Brasil, de modo que essa região passa a ter um ganho de diversidade local enquanto o restante do cerrado sofrerá com o empobrecimento de sua diversidade. Este estudo aponta ainda, que num futuro próximo, as espécies do cerrado sofrerão com a perda de habitat, decorrente tanto da perda de fragmentos como da redução de área destes.

Modelos de Distribuição Potencial e Resposta Hierárquica da Distribuição

Os SDMs foram bons preditores das distribuições do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do Cerrado visto que suas distribuições preditas sobrepõem com os dados de ocorrência atual. Não ocorreu grande variação na estimativa dos SDMs entre os métodos considerados (BIOCLIM, Maxent, Garp, Distância de Mahalanobis e Distância Euclidiana). Deste modo, essa congruência entre os métodos permite uma avaliação à respeito das previsões futuras acerca da cobertura florestal do Cerrado e o efeito da escala hierárquica. Isso elimina a necessidade de discutir a adequação dos métodos de modelagem utilizados. Adicionalmente, sabe-se que a maior parte da variação final encontrada nas análises de modelagem ocorre devido a dados incertos de ocorrência das espécies ou futuros cenários climáticos e não à modelagem de nicho propriamente dita (Pearson *et al.*, 2006; mas ver Diniz-Filho *et al.* 2009), ou seja, a variância do desempenho do método é maior entre as espécies do que entre as técnicas empregadas (Guisan *et al.*, 2007).

A concordância hierárquica no deslocamento das distribuições futuras decorrentes dos efeitos das mudanças climáticas implica que o modelo de deslocamento do nível hierárquico mais elevado (bioma) pode ser uma soma dos modelos individuais (das regiões fitoecológicas ou das espécies). Sendo assim, para entender como as mudanças climáticas afetarão o Cerrado não é necessário estudar como as mudanças climáticas afetarão cada planta individualmente, pois todas elas irão responder de maneira parecida. Podendo assim, inferir que o bioma Cerrado e suas respectivas regiões fitoecológicas são definidos pelo conjunto das espécies de plantas que o ocupam, corroborando as definições de bioma propostas por Mueller-Dombois & Ellenberg (1974), Dajoz (1973) e Allen (1998), conforme a revisão de Coutinho (2006) (ver também Batalha, 2011). Assim, é possível afirmar que a distribuição das espécies de plantas reflete a formação de grupos coesos que definem as regiões fitoecológicas e o bioma. Então, usar a distribuição de um grupo de plantas para a definição de hierarquias superiores pode ser útil quando não se dispõem de dados para outros grupos de organismos, pois intrínseco ao dado de ocorrência da espécie estão variáveis de interação biótica que não estão sendo modelados explicitamente no cálculo das

distribuições potenciais, mas que contribuem para que a distribuição das espécies vegetais reflita a distribuição de grupos maiores. Provavelmente, a formação destes grupos está ligada à existência de atributos funcionais nas espécies que sejam representativos da região fitoecológica ou do bioma.

Nesse sentido, seria interessante avaliar se o comportamento dos vetores de deslocamento, tanto em comprimento quanto em direção, são similares dentro de espécies ligadas a um mesmo grupo funcional, o qual pode ser mensurado com base no hábito da planta, atributos de dispersão (síndrome, tamanho e peso do diásporo, recompensa energética do fruto ou composição química), características foliares (tamanho, textura, pilosidade), modo de reprodução, fenologia, dentre outros parâmetros (para uma revisão de medidas de diversidade funcional ver Petchey *et al.*, 2009). Estudos recentes apontam que comunidades vegetais podem formar grupos filogeneticamente distintos (Palomino & Kessler, 2009), sendo assim, outro desdobramento do presente estudo, que permitiria compreender melhor a relação entre as hierarquias organizacionais, seria visualizar o comportamento dos vetores quando imersos em um contexto filogenético.

Deslocamento da Distribuição

Considerando o deslocamento das distribuições das regiões fitoecológicas, pode-se observar que aquelas com características de savana possuem deslocamento semelhante ao deslocamento do bioma. Não é um resultado surpreendente, pois, do ponto de vista fitofisionômico, o Cerrado é considerado um bioma de savana e mais de 70% da área total do bioma é composta por cerrado *sensu stricto*, campos de cerrado, campos limpos e campos sujos (Coutinho, 2006). Conseqüentemente, regiões fitoecológicas com características de floresta e em transição com outros biomas (Floresta Tropical Caducifólia; Faciações da Floresta Ombrófila Densa; Floresta Tropical Subcaducifólia e vegetação de transição com a Amazônia) deslocaram em direção diferente ao deslocamento do bioma, sobretudo, as regiões fitoecológicas em áreas de transição com a Amazônia (Faciações da Floresta Ombrófila Densa e vegetação

de transição com a Amazônia) apresentaram amplo deslocamento da distribuição para a região sudoeste do Brasil.

A amplitude do deslocamento da distribuição do bioma é maior em relação ao deslocamento do conjunto das regiões fitoecológicas e ao conjunto das espécies. Este resultado pode ser explicado porque não se utilizou apenas espécies endêmicas do Cerrado, proporcionando ampla distribuição atual das espécies, ou seja, os padrões da ocorrência atual das espécies podem ocupar uma variedade de ambientes, sendo assim, menos dependentes de fatores abióticos. Adicionalmente, o tamanho da distribuição, mostra reais efeitos na precisão dos SDMs, não podendo ser explicado através de artefatos metodológicos (McPherson & Jetz, 2007).

Este estudo apresentou resultados distintos dos apresentados por Salazar *et al.* (2007), que preveem o avanço do Cerrado à região da Amazônia e savanização da mesma. Conforme mostrado anteriormente, os deslocamentos do bioma, das espécies e das regiões fitoecológicas tendem à região sudeste. Essa diferença pode ser devido à ampla distribuição atual das espécies, ou à aplicações metodológicas diferentes, ou por interpretações distintas do que realmente é considerado Cerrado. Da mesma maneira que este estudo difere do resultado de Salazar *et al.* (2007), existem resultados divergentes à teoria dos refúgios (Haffer, 1969), a qual afirma que, no passado, houve um recuo da floresta Amazônica em períodos climáticos secos, conseqüentemente, uma expansão do Cerrado em direção à Amazônia. Colinvaux *et al.* (2000) e Bush & Oliveira (2006) indicam que houve migração de táxons específicos e não expansão de todo o bioma Cerrado. Avaliando as condições de solo para determinar a distribuição do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies restringiria estas distribuições, pois existe diferença na composição do solo do Cerrado em relação ao da Amazônia. Enquanto o solo do Cerrado é ácido, bem drenado e com altos níveis de alumínio, sendo algumas espécies de plantas adaptadas ao alto nível de alumínio (Furley & Ratter, 1988), já o solo amazônico é pobre em nitrogênio e este nutriente é um limitante para o crescimento das plantas (Laurance *et al.*, 1999).

Padrões de Riqueza

A diferença significativa dos padrões de riqueza (ver Figura 08) revela que as espécies tendem a desaparecer da atual região do Cerrado, porém sem caracterizar uma extinção geral, já que as espécies migrariam para altas latitudes, assim como as regiões fitoecológicas e o bioma. Este resultado concorda com o estudo de Siqueira & Peterson (2003), o qual avalia que algumas espécies de plantas seguem à margem sul e leste da distribuição atual do Cerrado. O aumento da diversidade local na região sudeste do Brasil, no âmbito de mudanças climáticas, corrobora a expectativa das espécies deslocarem sua distribuição em direção aos pólos, para grandes escalas de latitude (Colwell *et al.*, 2008). Este aumento da diversidade local implica que, mesmo diante do cenário de condições climáticas mais severas ao calor e à seca, as espécies se distribuirão em um menor fragmento de área. Provavelmente, se os SDMs incorporassem dados bióticos, poderia não ocorrer esse aumento da diversidade local ou as espécies estariam menos competitivas, já que padrões de distribuição das espécies em pequena dimensão são fortemente influenciados pelos processos bióticos como a competição ou facilitação (Meier *et al.*, 2010).

Perda de Área e Fragmentação

Os resultados mostrados neste estudo não evidenciaram aumento no número dos fragmentos entre a distribuição atual das espécies e a distribuição futura. Entretanto, estes mesmos resultados fornecem evidências do efeito das mudanças climáticas sobre a diminuição no tamanho da distribuição potencial futura do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do Cerrado. O efeito das alterações climáticas e a fragmentação de habitat podem exercer impacto futuro sobre a distribuição e a persistência das espécies (Moritz *et al.*, 2008). Siqueira & Peterson (2003) afirmam que o alto grau de fragmentação dos habitats do Cerrado não pode ser tomado em consideração, dada a natureza temporalmente heterogênea das informações de ocorrência e à falta de dados anteriores e posteriores aos padrões de uso da terra no Cerrado.

Alguns autores consideram que a maior ameaça para o futuro da biodiversidade terrestre é a relação das mudanças climáticas aceleradas e a modificação das paisagens, derivada, sobretudo, do uso do solo para agropecuária e urbanização (Sala *et al.*, 2000; Thuiller *et al.*, 2006; Jetz *et al.*, 2007). A evolução dos padrões de uso da terra pode ter um efeito muito maior sobre os padrões de distribuição das espécies que as mudanças climáticas em si (Sala *et al.*, 2000). O estudo de Carvalho *et al.* (2009) não fez previsões futuras para o Cerrado, mas avaliou a fragmentação atual. Concluindo que as paisagens de Cerrado do estado de Goiás dominadas por culturas são mais fragmentadas em relação às paisagens dominadas por pastagens, que a área de vegetação remanescente é semelhante em ambas as paisagens e que a distribuição dos tipos de uso da terra são fortemente afetados pela topografia.

Além dos efeitos locais e regionais das atividades agrícolas, as mudanças climáticas também são um fator principal que não se pode desconsiderar, pois as previsões apontam que as alterações climáticas podem afetar a diversidade, a distribuição das espécies e que ocorrerá perda de habitat na distribuição futura das espécies de plantas do Cerrado. Embora os resultados deste estudo não mostrem nenhuma extinção global de espécies, a perda de áreas habitáveis para as plantas pode ser motivo de grande preocupação, pois afetam a distribuição e o fluxo gênico da população, que influenciam na densidade populacional e na diversidade genética, ocasionalmente, causando extinções locais (Nabout *et al.*, 2010). A associação da filogeografia e dos SDMs das espécies procura entender padrões biogeográficos e os processos que os geram, através de estudos da variação espacial-geográfico, todos eles fornecem informações independentes, mas complementares (Richards *et al.*, 2007; Rissler *et al.*, 2006).

Para compreender melhor os processos ecológicos e evolutivos associados à definição de nicho utilizada nos SDMs, os resultados obtidos pelos SDMs para algumas espécies podem ser refinados pela incorporação de novos dados ambientais (por exemplo, solos) e processos demográficos, especialmente a dispersão. Além disso, um fator importante para ser possível atingir esse refinamento é passar a considerar a estrutura de variação genética ao longo das distribuições geográficas, o que pode melhorar a definição do modelo de nicho a

partir da compreensão de como processos adaptativos podem moldar os limites da distribuição. Esses futuros testes deverão ser capazes de modelar a distribuição potencial de espécies no passado (climas modelados no final do período Quaternário) e permitir a comparação entre dos padrões preditos para o passado com os padrões filogeográficos atuais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de distribuição potencial podem ser bons preditores das distribuições das espécies no âmbito de mudanças climáticas, entretanto, deve haver atenção ao escolher os métodos e as fontes de dados, pois podem ocorrer fontes de incertezas provenientes dos dados ambientais e dos dados das espécies. Este estudo demonstrou que não existe uma estrutura hierárquica na resposta da distribuição vegetacional frente às previsões de mudanças climáticas para o ano de 2080 no Cerrado brasileiro. Ou seja, para entender como as mudanças climáticas afetarão o Cerrado não é necessário estudar como as mudanças climáticas afetarão cada região fitoecológica ou cada planta individualmente, pois todas irão responder de maneira parecida. Então, usar a distribuição de um grupo de plantas para a definição de hierarquias superiores pode ser útil quando não se dispõem de dados para outros grupos de organismos.

Embora alguns estudos preveem o avanço do Cerrado à região da Amazônia e savanização da mesma, este estudo apresentou resultados distintos. Em geral, nas três escalas estudadas (bioma, regiões fitoecológicas e espécies) as respectivas distribuições deslocam-se para o sudeste do Brasil, de modo que essa região passa a ter um ganho de diversidade local enquanto o restante do Cerrado sofrerá com o empobrecimento de sua diversidade. Ou seja, em condições climáticas mais severas de calor e seca, as espécies tendem deslocarem sua distribuição para grandes escalas de latitude.

As previsões deste estudo fornecem evidências do efeito das mudanças climáticas sobre a diminuição no tamanho da distribuição potencial futura do bioma, das regiões fitoecológicas e das espécies de plantas do Cerrado. Embora

os resultados deste estudo não mostrem nenhuma extinção global das espécies, a perda de áreas habitáveis para as plantas pode ser motivo de grande preocupação. Frente a esse fato, as ações conservacionistas mais importantes estariam associadas à garantia de que os habitats estejam conectados e em áreas bem preservadas, para atender alguns efeitos das mudanças no clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLOUCHE, O.; ASAF 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, S.P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M. & RIBEIRO, J.F. (1998) Cerrado: espécies vegetais úteis. *Planaltina: Embrapa-CPAC*, p. 156-161.
- ARAÚJO, M.B.; CABEZA, M.; THUILLER, W., HANNAH, L. & WILLIAMS, P.H. (2004) Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10: 1618-1626.
- ARAÚJO, M.B. & PEARSON, R.G. (2005) Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, 28: 693-695.
- ARAÚJO, M.B.; PEARSON, R.G.; THUILLER, W. & ERHARD, M. (2005) Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11: 1504-1513.
- ARAÚJO, M.B. & GUISAN, A. (2006) Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33: 1677-1688.
- ARAÚJO, M.B.; THUILLER, W. & PEARSON, R.G. (2006) Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33: 1712-1728.

- ARAÚJO, M.B. & RAHBEK, C. (2006) How does climate change affect biodiversity? *Science*, 313: 1396-1397.
- ARAÚJO, M.B. & NEW, M. (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22 (1): 42-47.
- ARAÚJO, M.B. & LUOTO, M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16 (6): 743-753.
- AUSTIN M. (2007) Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200: 1-19.
- BATALHA, M. A. (2011) O cerrado não é um bioma. *Biota Neotropica*, 11 (1): 1-4.
- BERRY, P.M.; DAWSON, T.P.; HARRISON, P.A. & PEARSON, R.G. (2002) Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland. *Global Ecology and Biogeography*, 11: 453-462.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mapa de Cobertura vegetal do Bioma Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; Goiânia: Universidade Federal de Goiás (eds.), 2006. 1 mapa, color., 118 cm x 84 cm. Escala 1:4.000.000. (disponível em: http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/mapas_pdf/vegetacao/mosaico/mosaico_cobvegA0.pdf)
- BROMMER, J.E. (2004) The range margins of northern birds shift polewards. *Annales Zoologici Fennici*, 41: 391-397.
- BUCKLEY, L.B.; URBAN, M.C.; ANGILLETTA, M.J.; CROZIER, L.G.; RISSLER, L.J. & SEARS, M.W. (2010) Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology Letters*, 13: 1041-1054.

- BUSH, M.B. & DE OLIVEIRA, P.E. (2006) The rise and fall of the Refugial Hypothesis of Amazonian Speciation: a paleo-ecological perspective. *Biota Neotropica*, 6 (1): 1-17.
- BUSH, M.B.; SILMAN, M.R.; MCMICHAEL, C. & SAATCHI, S. (2008) Fire, climate change and biodiversity in Amazonia: a Late-Holocene perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363: 1795-1802.
- CARNAVAL, A.C.; HICKERSON, M.J.; HADDAD, C.F.B.; RODRIGUES, M.T. & MORITZ, C. (2009) Stability predicts genetic diversity in Brazilian Atlantic forest hotspot. *Science*, 323: 785-789.
- CARVALHO, F.M.V.; DE MARCO JR., P.; FERREIRA, L.G. (2009) The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, 142: 1392-1403.
- COLINVAUX, P.A.; DE OLIVEIRA, P.E. & BUSH, M.B. (2000) Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews*, 19: 141-169.
- COLWELL, R.K.; BREHM, G.; CARDELÚS, C.L.; GILMAN, A.C. & LONGINO, J.T. (2008) Global Warming, Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics. *Science*, 322: 258-261.
- COUTINHO, L.M. (2006) O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, 20(1): 1-11.
- DAVIS, A.J.; JENKINSON, L.S.; LAWTON, J.H.; SHORROCKS, B. & WOOD, S. (1998) Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391: 783-786.
- DINIZ FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; RANGEL, T.F.L.V.B.; LOYOLA, R.D.; HOF, C.; NOGUÉS-BRAVO, D.; ARAÚJO M.B. (2009) Partitioning and mapping uncertainties in ensemble of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 32: 897-906.

- DINIZ FILHO, J.A.F.; FERRO, V.G.; SANTOS, T.; NABOUT, J.C.; DOBROVOLSKI, R. & DE MARCO JR., P. (2010) The three phases of the ensemble forecasting of niche models: geographic range and shifts in climatically suitable areas of *Utetheisa ornatrix* (Lepidoptera, Arctiidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(3): 339-349.
- DORMANN, C.F.; MCPHERSON, J.M.; ARAÚJO, M.B.; BIVAND, R.; BOLLIGER, J.; CARL, G.; DAVIES, R.G.; HIRZEL, A.; JETZ, W.; KISSLING, W.D.; KUHN, I.; OHLEMÜLLER, R.; PERES-NETO, P.R.; REINEKING, B.; SCHRÖDER, B.; SCHURR, F.M. & ROBERT WILSON. (2007) Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography*, 30: 609-628.
- EASTMAN, J.R. (2009) IDRISI. Worcester-MA, Graduate School of Geography, Clark University. 333pp.
- ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P.; DUDÍK, 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.; MC. OVERTON, J.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, S.J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.E.; SOBERÓN, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S. & ZIMMERMANN, N.E. (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- ERASMUS, B.F.N.; VAN JAARSVELD, A.S.; CHOWN, S.L.; KSHATRIYA, M. & WESSELS, K. J. (2002) Vulnerability of South African animal taxa to climate change. *Global Change Biology*, 8:679-693.
- FARBER, O. & KADMON, R. (2003) Assessment of alternative approaches for bioclimatic modelling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling*, 160: 115-130.
- FELFILI, J.M.; DA SILVA JÚNIOR, M.C.; SEVILHA, A.C.; FAGG, C.W.; WALTER, B.M.T.; NOGUEIRA, P.E. & REZENDE, A.V. (2004) Diversity, floristic and

structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, 175: 37-46.

FORZZA, R.C.; LEITMAN, P.M.; COSTA, A.F.; CARVALHO JR., A.A.; PEIXOTO, A.L.; WALTER, B.M.T.; BICUDO, C.; ZAPPI, D.; COSTA, D.P.; LLERAS, E.; MARTINELLI, G.; LIMA, H.C.; PRADO, J.; STEHMANN, J.R.; BAUMGRATZ, J.F.A.; PIRANI, J.R.; SYLVESTRE, L.; MAIA, L.C.; LOHMANN, L.G.; QUEIROZ, L.P.; SILVEIRA, M.; COELHO, M.N.; MAMEDE, M.C.; BASTOS, M.N.C.; MORIM, M.P.; BARBOSA, M.R.; MENEZES, M.; HOPKINS, M.; SECCO, R.; CAVALCANTI, T.B.; SOUZA, V.C. Introdução. *in* Lista de Espécies da Flora do Brasil. *Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, 2010. (disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/>)

FYLLAS, N.M. & TROUMBIS, A.Y. (2009) Simulating vegetation shifts in northeastern Mediterranean mountain forests under climatic change scenarios. *Global Ecology and Biogeography*, 18: 64-77.

GUISAN, A. & THUILLER, W. (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-109.

GUISAN, A. & ZIMMERMANN, E.; (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.

GUISAN, A.; GRAHAM, C.H.; ELITH, J.; HUETTMANN, F. & NCEAS (2007) (Species Distribution Modelling Group). Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*. 3: 332-340.

HAFFER, J. (1969) Speciation in Amazonian Forest Birds. *Science*, 165: 131-137.

HAMPE, A. (2004) Bioclimate envelope models: what they detect and what they hide. *Global Ecology Biogeography*, 13: 469-471.

HAWKINS, B.A.; FIELD, R.; CORNELL, H.V.; CURRIE, D.J.; GUÉGAN, J.F.; KAUFMAN, D.M.; KERR, J.T.; MITTELBAACH, G.G.; OBERDORFF, T.; O'BRIEN, E.M.; PORTER, E.E. & TURNER, J.R.G. (2003) Energy, water,

and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology*, 84: 3105–3117.

HAWKINS, B.A.; DINIZ FILHO, J.A.F. & SOELLER, A.S. (2005) Water links the historical and contemporary components of the Australian bird diversity gradient. *Journal of Biogeography*, 32: 1035-1042.

HESSLER, I.; DUPONT, L.; BONNEFILLE, R.; BEHLING, H.; GONZÁLEZ, C.; HELMENS, K.F.; HOOGHIEMSTRA, H.; LEBAMBA, J.; LEDRU, M. P.; LÉZINE, A.M.; MALEY, J.; MARRET, F. & VINCENS, A. (2010) Millennial-scale changes in vegetation records from tropical Africa and South America during the last glacial. *Quaternary Science Reviews*, 29: 2882-2899.

HICKLING, R.; ROY, D.B.; HILL, J.K.; FOX, R. & THOMAS, C.D. (2006) The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, 12: 450-455.

HULBERT, A.H. & JETZ, W. (2007) Species richness, hotspots, and the scale dependence of range maps in ecology and conservation. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America (PNAS)*, 33:13384-13389.

IBÁÑEZ I.; CLARK, J.S.; DIETZE, M.C.; FEELEY, K.; HERSH, M.; LADEAU, S.; MCBRIDE, A.; WELCH, N.E. & WOLOSIN, M.S. (2006) Predicting biodiversity change: outside the climate envelope, beyond the species-area curve. *Ecology*, 87: 1896-1906.

IPCC (2000) - Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge University Press*, New York, 599 pp.

IPCC (2001) - Intergovernmental Panel on Climate Change. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. *Cambridge University Press*, New York, 599 pp., 2001.

- IPCC (2007) - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007, the physical science basis: summary for policymakers. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, New York, 996 pp., 2007.
- KLINK, C.A. & MACHADO, R.B. (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19: 707-713.
- KONVICKA, M.; MARADOVA, M.; BENES, J.; FRIC, Z. & KEPKA, P. (2003) Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detected on a regional scale. *Global Ecology and Biogeography*, 12: 403-410.
- LAURANCE, W.F.; FEARNSIDE, P.M.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T.E.; MERONA, J.M.R.; CHAMBERS, J.Q. & GASCONA, C. (1999) Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 118: 127-138.
- LAWLER, J.J.; SHAFER, S.L. WHITE, D.; KAREIVA, P.; MAURER, E.P.; BLAUSTEIN, A.R. & BARTLEIN, P.J. (2009) Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*, 90: 588-597.
- LE TREUT, H.; SOMERVILLE, R.; CUBASCH, U.; DING, Y.; MAURITZEN, C.; MOKSSIT, A.; PETERSON, T. & PRATHER, M. (2007): Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY-USA.
- LIM, B.K.; PETERSON, A.T. & ENGSTROM, M.D. (2002) Robustness of ecological niche modelling algorithms for mammals in Guyana. *Biodiversity and Conservation*, 11: 1237-1246.

- LOVEJOY, T.E. & L. HANNAH. (2005) *Climate change and biodiversity*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA.
- MALCOLM, J.R.; LIU, C.; NEILSON, R.P.; HANSEN, L. & HANNAH, L. (2006) Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology*, 20(2): 538–548, 2006.
- MARENCO, J. A. (2007) *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. 2ª. edição. *Ministério do Meio ambiente*, Brasília. 212 pp.
- MARMION, M.; PARVIAINEN, M.; LUOTO, M.; HEIKKINEN, R.K. & THUILLER, W. (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15: 59-69.
- McPHERSON, J.M. & JETZ, W. (2007) Effects of species' ecology on the accuracy of distribution models. *Ecography*, 30: 135-151.
- MAYLE, F.E.; BEERLING, D.J.; GOSLING, W.D. & BUSH, M.B. (2004) Responses of Amazonian ecosystems to climatic and atmospheric carbon dioxide changes since the Last Glacial Maximum. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359: 499-515.
- MEIER, E.S.; KIENAST, F.; PEARMAN, P.B.; SVENNING, J.C.; THUILLER, W.; ARAUÚJO, M.B.; GUIBAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. (2010) Biotic and abiotic variables show little redundancy in explaining tree species distributions. *Ecography*, 33: 1038-1048.
- MILES, L.; GRAINGER, A. & PHILLIPS, O. (2004) The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 553-565.
- MIDGLEY, G.F.; HANNAH, L.; MILLAR, D.; RUTHERFORD, M. C. & POWRIE, L.W. (2002) Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic

climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology Biogeography*, 11: 445-451.

MORITZ, C.; PATTON, J.L.; CONROY, C.J.; PARRA, J.L.; WHITE, G.C. & BEISSINGER, S.R. (2008) Impact of a Century of Climate Change on Small-Mammal Communities in Yosemite National Park, USA. *Science*, 322: 261-264.

MORLOT, J.C.; MASLIN, M. & BURGESS, J. (2007) Global warming in the public sphere. *Philosophical Transactions Royal Society A*, 365: 2741-2776.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G.A.B. DA & KENT, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.

NABOUT, J.C.; SOARES, T.N.; DINIZ FILHO, J.A.F.; DE MARCO JÚNIOR, P.; TELLES, M.P.C.; NAVES, R.V. & CHAVES, L.J. (2010) Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Biology*, 70 (4): 911-919.

NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.; MARENGO, J.A. & SALATI, E. (2004) Impacts of climate change scenarios for 2091-2100 on the biomes of South America. *First CLIVAR International Conference*, Baltimore, USA: 21-25.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. & RATTER, J. A. (1994). Database: woody flora of 106 forest areas of eastern tropical South America. *Royal Botanic Garden*, Edinburgh Inverleith Row, EH3 5LR, Edinburgh Scotland, U.K.

OYAMA, M.D. & NOBRE, C.A. (2004) A simple potential vegetation model for coupling with the simple biosphere model (SIB), *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2: 203-216.

PALOMINO, R.L. & KESSLER, M. (2009) The role of dispersal ability, climate and spatial separation in shaping biogeographical patterns of phylogenetically

distant plant groups in seasonally dry Andean forests of Bolivia. *Journal of Biogeography*, 36: 280-290

PARMESAN, C. (1996) Climate and species' range. *Nature*, 382: 765-766.

PARMESAN, C. (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37: 637-669.

PEARSON, R.G.; DAWSON, T.P.; BERRY, P.M. & HARRISON, P.A. (2002) SPECIES: a spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling*, 154: 289–300.

PEARSON, R.G. & DAWSON, T.E. (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371.

PEARSON, R.G.; THUILLER, W.; ARAÚJO, M.B.; MATINEZ-MEYER, E.; BROTONS, L.; MacCLEAN, C.; MILES, L.; SEGURADO, P.; DAWSON, T.P. & LEES, D.C. (2006) Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33: 1704-1711.

PEARSON, R.G.; RAXWORTHY, C.J.; NAKAMURA, M. & PETERSON, A.T. (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: 102-117.

PETCHEY, O.L.; O'GORMAN, E.J. & FLYNN, D.F.B. (2009) A functional guide to functional diversity measures. Cap. 4, Parte 2: Natural science foundations in *A Functional Guide to Functional Diversity Measures*, pp. 49-59.

PETERSON, A.T.; ORTEGA, M.A.; BARTLEY, J.; SANCHEZ-CORDERO, V.; SOBERÓN, J.; BUDDEMEIER, R.H. & STOCKWELL, D.R.B. (2002) Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416: 626-629.

- PHILLIPS, S.J.; ABDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. (2006) Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- PROBIO (2004) – Relatório Final Edital Probio 02/2004 – Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, disponível em: <http://www.mma.gov.br/porta/bio>.
- R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- RANGEL, T.F.L.V.B, DINIZ FILHO, J.A.F & BINI, L.M. (2010) SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, 33:46-50.
- RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. (1997) The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Annals of Botany*, 80: 223-230, 1997.
- RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S. & RIBEIRO, J.F. (2006). Biodiversity Patterns of the Woody Vegetation of the Brazilian Cerrados em *Neotropical savannas and dry forests: diversity, biogeography and conservation*. Editores R. Toby Pennington & James A. Ratter. *Systematics associations special volumes, nº 69*. Museu de História Natural de Londres. Capítulo 02: 31-66.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. (1998) Fitofisionomias do bioma cerrado. Pp. 89-166. In: S.M. Sano & S.P. Almeida (eds.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa-CPAC.
- RICHARDS, C.L.; BRYAN, C.C. & KNOWLES, L.L. (2007) Distribution modelling and statistical phylogeography: an integrative framework for generating and testing alternative biogeographical hypotheses. *Journal of Biogeography*, 34: 1833–1845.

- SALA, O.E.; CHAPIN III, F.S.; ARMESTO, J.J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L.F.; JACKSON, R. B.; KINZIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D.M.; MOONEY, H.A.; OESTERHELD, M.; POFF, N.L.; SYKES, M.T.; WALKER, B.H.; WALKER, M. & WALL, D.H. (2000) Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.
- SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. & OYAMA, M.D. (2007) Climate change consequences on the biome distribution in tropical South América. *Geophysical Research Letters*, 34: L09708.
- SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. & RIBEIRO, J.F. (2008) Cerrado: ecologia e flora. *Embrapa Cerrados*, Brasília-DF, vol. 2, 1279 pp.
- SEGURADO, P. & ARAÚJO, M.B. (2004) An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*, 31: 1555-1568.
- SILVA, J.F.; FARIÑAS, M.R. FELTILI, J.M. & KLINK, C.A. (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33: 536-548.
- SIQUEIRA, M.F. & PETERSON, A.T. (2003) Consequences of Global Climate Change for Geographic Distributions of Cerrado Tree Species. *Biota Neotropica*, 3 (2): 1-14.
- SOBERÓN, J. (2007) Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10: 115-1123.
- STAINFORTH, D. A.; AINA, T.; CHRISTENSEN, C.; COLLINS, M.; FAULL, N.; FRAME, D.J.; KETTLEBOROUGH, J.A.; KNIGHT, S.; MARTIN, A.; MURPHY, J.M.; PIANI, C.; SEXTON, D.; SMITH, L.A.; SPICER, R.A.; THORPE, A.J. & ALLEN, M.R. (2005) Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*, 433 (27): 403-406.

- THUILLER W. (2004) Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10: 2220-2227.
- THUILLER, W., LAVOREL, S; ARAUJO, M.B.; SYKES, M.T. & PRENTICE, I. C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)*, 102: 8245-8250.
- THUILLER, W.; BROENNIMANN, O.; HUGHES, G.; ALKEMADE, J.R.M.; MIDGLEY, G.F. & CORSI, F. (2006) Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12: 424-440.
- THOMAS, C.D.; CAMERON, A.; GREEN, R.E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L.J.; COLLINGHAM, Y.C.; ERASMUS, B.F.N.; SIQUEIRA, M.F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A.S.; MIDGLEY, G.F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, O.L. & WILLIAMS, S.E. (2004) Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.
- THOMAS, C.D.; FRANCO, A.M.A. & HILL; J.K. (2006) Range retractions and extinction in the face of climate warming. *Trends in Ecology and Evolution*, 21: 415-416
- VALE, M.M.; ALVES, M.A.S. & LORINI, M.L. (2009) Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3): 518-535.
- WALTHER G. R.; HUGHES, L.; VITOUSEK, P. & STENSETH N. C. (2005) Consensus on climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 648-649.
- WILSON, R.J.; GUTIERREZ, D.; GUTIERREZ, J.; MARTINEZ, D.; AGUDO, R. & MONSERRAT V.J. (2005) Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8: 1138-1146.

- WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.M.; HOEGH-GUIDBERG, O. & BAIRLEIN, F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.
- WEINS, J.J.; GRAHAM, C.H.; MOEN, D.S.; SMITH, S.A. & REEDER, T.W. (2006) Evolutionary and ecological causes of latitudinal diversity gradient in hylid frogs: treefrog trees unearth the roots of high tropical diversity. *The American Naturalist*, 168: 579-596.
- WILLIAMS, J.W.; JACKSON, S.T. & KUTZBACH, J.E. (2007) Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 104: 5738-5742.
- WILLIAMS, S.E.; SHOO, L.P.; ISAAC, J.L.; HOFFMANN, A.A. & LANGHAM, G. (2008) Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *Plos Biology*, 6: 2621-2626.

ANEXOS

Anexo 01: Lista das espécies de plantas do Cerrado utilizadas no estudo. Dados disponíveis no website do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Forzza *et. al*, 2010).

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Achyrocline satureioides</i> (Lam.) DC.	Asteraceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica, Pampa
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Arecaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Aegiphila lhotskiana</i> Cham.	Lamiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Aeschynomene brasiliiana</i> (Poir.) DC.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	Opiliaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	Rubiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Alibertia obtusa</i> K.Schum.	Rubiaceae	não é endêmica	Cerrado (MG), Mata Atlântica
<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Anacardium humile</i> A.St.-Hil.	Anacardiaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Ananas ananassoides</i> (Baker) L.B.Sm.	Bromeliaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Andira cujabensis</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Andira humilis</i> Mart. ex Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Andira vermifuga</i> (Mart.) Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Anemopaegma arvense</i> (Vell.) Stellfeld ex de Souza	Bignoniaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Annona coriacea</i> Mart.	Annonaceae	não é endêmica	Cerrado, Pantanal
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Annonaceae	não é endêmica	Cerrado, Pantanal
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Arachis prostrata</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Apocynaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Aspidosperma nobile</i> Müll.Arg.	Apocynaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	Apocynaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Anacardiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Attalea exigua</i> Drude	Arecaceae	endêmica	Cerrado
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	Combretaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Malpighiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Byrsonima crassa</i> Nied.	Malpighiaceae	desconhecido	Amazônia, Cerrado
<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	Malpighiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Malpighiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Calliandra dysantha</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Callisthene major</i> Mart. & Zucc.	Vochysiaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Clusiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Campomanesia pubescens</i> (DC.) O.Berg	Myrtaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Lecythidaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. subsp. <i>Brasiliense</i>	Caryocaraceae	endêmica	Cerrado
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Flacourtiaceae	sem dados da família	
<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	Fabaceae	endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Chorisia speciosa</i> A.St.-Hil.	Malvaceae	sem dados	
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae	endêmica	Cerrado
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	Chrysobalanaceae	endêmica	Cerrado
<i>Croton goyazensis</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	endêmica	Cerrado
<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	Bignoniaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Dalbergia misocolobium</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	Dilleniaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Deianira chiquitana</i> Herzog	Gentianaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Sapindaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	Ebenaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Dipteryx alata</i> Vogel Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Duguetia furfuracea</i> (A.St.-Hil.) Saff.	Annonaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	Poaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	Icacinaceae	sem dados	
<i>Enterolobium ellipticum</i>	Fabaceae	sem dados	
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Malvaceae	endêmica	Cerrado
<i>Erythrina speciosa</i> Andrews	Fabaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	Erythroxylaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Erythroxylaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Esenbeckia pumila</i> Kunth	Rutaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	Myrtaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Eugenia klotzschiana</i> O.Berg	Myrtaceae	endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Gomphrena officinalis</i> Mart.	Amaranthaceae	sem dados	
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Nyctaginaceae	endêmica	Cerrado
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltdl.	Rubiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Hancornia speciosa</i> var. <i>pubescens</i> (Nees & Mart.)	Apocynaceae	endêmica	Cerrado
<i>Heteropterys byrsonimiifolia</i> A.Juss.	Malpighiaceae	desconhecido	Amazônia, Cerrado
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll.Arg.) Woodson	Apocynaceae	endêmica	Cerrado
<i>Hirtella ciliata</i> Mart. & Zucc.	Chrysobalanaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Clusiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess.	Clusiaceae	endêmica	Cerrado
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	Clusiaceae	endêmica	Cerrado
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	Lythraceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Lamanonia tomentosa</i> (Cambess.) Kuntze	Cunoniaceae	endêmica	Cerrado
<i>Luehea paniculata</i> Mart. & Zucc.	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Lychnophora ericoides</i> Mart.	Asteraceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Macrosiphonia velame</i> (A.St.-Hil.) Müll.Arg.	Apocynaceae	sem dados	
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	Sapindaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Mandevilla illustris</i> (Vell.) Woodson	Apocynaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	endêmica	Cerrado
<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	Arecaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Melanoxylon brauna</i> Schott	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Mesosetum loliiforme</i> (Hochst.) Chase	Poaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Melastomataceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	Melastomataceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A.Mattos	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	Melastomataceae	endêmica	Cerrado
<i>Mouriri pusa</i> Gardner	Melastomataceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Fabaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Neea theifera</i> Oerst.	Nyctaginaceae	não é endêmica	Cerrado
<i>Oncidium varicosum</i> Lindl.	Orchidaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Ormosia fastigiata</i> Tul.	Fabaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Ochnaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	Ochnaceae	endêmica	Cerrado
<i>Paepalanthus speciosus</i> (Bong.) Körn.	Eriocaulaceae	não é endêmica	Cerrado
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Rubiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Paspalum erianthum</i> Nees ex Trin.	Poaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Peritassa campestris</i> (Cambess.)	Celastraceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Physocalymma scaberrimum</i> Pohl	Lythraceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Asteraceae	endêmica	Cerrado
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Platycyamus regnelli</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Plenckia populnea</i> Reissek	Celastraceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Sapotaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Sapotaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.Robyns	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) A.Robyns	Malvaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Psidium firmum</i> O.Berg	Myrtaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Psidium myrsinoides</i> O.Berg	Myrtaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Pterodon abruptus</i> (Moric.) Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Pterodon apparicioi</i> Pedersoli	Fabaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica (Minas Gerais)
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Rapanea guianensis</i> Aubl.	Myrsinaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Rourea induta</i> Planch.	Connaraceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	Rubiaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Salacia crassifolia</i> (Mart. ex Schult.) G.Don	Celastraceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Salvertia convallariaeodora</i> A.St.-Hil.	Vochysiaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Schefflera macrocarpum</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	Araliaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Sclerolobium aureum</i> (Tul.) Benth.	Fabaceae	endêmica	Cerrado
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	Fabaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	Simaroubaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Siparunaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Smilax goyazana</i> A.DC.	Smilacaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Pantanal
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	Solanaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Spiranthera odoratissima</i> A.St.-Hil.	Rutaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Malvaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	Loganiaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	Fabaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Styracaceae	endêmica	Cerrado
<i>Syagrus comosa</i> (Mart.) Mart.	Arecaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	Arecaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado
<i>Symplocos crenata</i> (Vell.) Mattos	Symplocaceae	sem dados	
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f.	Bignoniaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl.	Bignoniaceae	sem dados	
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Talauma ovata</i> A.St.-Hil.	Magnoliaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Combretaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	Combretaceae	não é endêmica	Caatinga, Cerrado
<i>Tibouchina papyrus</i> (Pohl) Toledo	Melastomataceae	endêmica	Cerrado
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	Rubiaceae	não é endêmica	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Vellozia squamata</i> Pohl	Velloziaceae	endêmica	Cerrado
<i>Vernonia ferruginea</i> Less.	Asteraceae	endêmica	Cerrado

Espécies	Família	Grau de Endemismo	Domínios Fitogeográficos
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Myristicaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>Virola urbaniana</i> Warb.	Myristicaceae	endêmica	Cerrado
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Vochysiaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Annonaceae	não é endêmica	Amazônia, Cerrado
<i>Zeyheria montana</i> Mart.	Bignoniaceae	não é endêmica	Cerrado, Mata Atlântica