

**Relatório do Produto nº 3 do Contrato nº 2015/000191 –
BRA/11/001: Mapas da distribuição espacial futura de nichos
climáticos dos biomas brasileiros**

Renata Dias Françoso.

BRASÍLIA, 2016

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA DE TABELAS.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MÉTODOS.....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
4.1. PROJEÇÃO DOS MAPAS DE NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS PARA 2050	9
4.2. ÁREAS DE CONTATO ENTRE OS NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS EM 2000 E 2050	19
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa atual e projeções do nicho climático da Amazônia para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	13
Figura 2. Mapa atual e projeções do nicho climático da Caatinga para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	14
Figura 3. Mapa atual e projeções do nicho climático do Cerrado para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	15
Figura 4. Mapa atual e projeções do nicho climático da Mata Atlântica para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	16
Figura 5. Mapa atual e projeções do nicho climático do Pampa para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).....	17
Figura 6. Mapa atual e projeções climáticas do nicho climático do Pantanal para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	18
Figura 7. Mapa atual e projeções climáticas do nicho climático do pantanal para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área total do nicho climático correspondente à Amazônia e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	13
Tabela 2. Área total do nicho climático correspondente à Caatinga e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	14
Tabela 3. Área total do nicho climático correspondente ao Cerrado e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	15
Tabela 4. Área total do nicho climático correspondente à Mata Atlântica e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	16
Tabela 5. Área total do nicho climático correspondente ao Pampa e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	17
Tabela 6. Área total do nicho climático correspondente ao Pantanal e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).	18

1. INTRODUÇÃO

A crise da biodiversidade (sensu Singh 2002), associada a aceleradas mudanças climáticas (Thomas 2004) torna de extrema importância a adoção de medidas de redução de perda biológica. Para isso, é necessário compreender os padrões biogeográficos atuais e futuros, visando direcionar pesquisas e o planejamento da conservação da biodiversidade para minimizar perdas biológicas. Nessa perspectiva, identificar as alterações em macro escala é o primeiro passo para o estabelecimento de iniciativas governamentais de prevenção e redução de perdas.

Os biomas devem ser usados como um ponto de partida para a identificação das alterações climáticas em escala regional, pois são unidades biogeográficas compostas por um complexo de organismos, englobando a vegetação clímax e suas subdivisões, além de componentes da fauna, ocupando extensas regiões sob um mesmo domínio climático (Clements & Shelford 1939; Oxford 2010). Assim, identificar as alterações nos nichos climáticos que definem os biomas é também compreender possíveis alterações nas comunidades de fauna e flora associadas a essas unidades biogeográficas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Apresentar a distribuição futura dos nichos climáticos dos biomas brasileiros para o ano de 2050 em dois cenários de emissões de GEE.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Elaborar modelos de nicho climático baseado na projeção de trajetória representativa de concentração de gases de efeito estufa (rcp) 4,5 para o ano de 2050.
- II. Elaborar modelos de nicho climático baseado na projeção de trajetória representativa de concentração de gases de efeito estufa (rcp) 8,5 para o ano de 2050.
- III. Identificar, para cada cenário, as regiões de sobreposição do nicho climático dos biomas brasileiros.

3. MÉTODOS

Foram desenvolvidos modelos de nicho climático para todos os biomas. O algoritmo utilizado para a modelagem foi o *Maxent* (Phillips et al. 2006) versão 3.3.3k. Baseado na Máxima Entropia, esse algoritmo de Inteligência Artificial calcula quão adequada é uma região para a ocorrência de uma espécie. Para tanto, diversas variáveis ambientais podem ser combinadas para estimar a aproximação do seu nicho realizado (Anderson et al. 2003).

O *Maxent* usa dados de presença de espécies e variáveis ambientais nas coordenadas de ocorrência para estimar uma superfície de probabilidade de ocorrência da espécie. No presente estudo, pontos aleatórios gerados dentro dos biomas foram usados como pseudo-espécies para estabelecer o nicho climático dos biomas. Abordagens semelhantes foram usadas em outros estudos (e.g. Werneck et al. 2012, 2011) e geraram resultados robustos.

Dezenove variáveis bioclimáticas baseadas em temperatura e precipitação foram usadas para identificar os nichos climáticos dos biomas brasileiros. Os dados em formato raster com resolução de 5 km (disponíveis em <http://www.worldclim.org>) são gerados pela interpolação da média dos dados climáticos mensais de estações climáticas no período de 30 (1960-1990) a 50 anos (1950-2000), de acordo com sua disponibilidade (WorldClim, 2010). Usando uma regressão logística para cada bioma, foram selecionados conjuntos de variáveis bioclimáticas com VIF (*Variance Inflation Factors*) menor do que 10, para evitar multicolinearidade entre as variáveis (Belsley et al. 2005). As regressões logísticas foram baseadas em dados de presença e ausência. Pontos aleatórios no interior do limite dos biomas foram considerados presença e pontos no entorno dos biomas foram considerados ausências. Para estabelecer os dados de ausência foi estabelecido um buffer de 500 km de distância da sua borda, considerando o mapa dos biomas brasileiros (IBGE 2004).

As projeções futuras dos mapas dos nichos climáticos dos biomas brasileiros foram baseadas nos modelos HadGEM2 (Martin et al. 2011), baseados nos cenários rcp (*Representative Concentration Pathways*) de 4.5 (otimista) e 8.5 (tendencial), que são duas das quatro projeções de trajetórias de concentrações de gases de efeito estufa (IPCC 2014). Dentre as regras de corte da adequabilidade ambiental disponíveis no aplicativo Maxent, a utilizada foi a *Maximum Training Sensitivity Plus Specificity*. Essa regra de limiar maximiza tanto a chance de ocorrerem ausências reais (especificidade) quanto presenças reais (sensitividade) (Jimenez-Valverde & Lobo 2007), que diminui a sobreprevisão (Liu et al. 2005).

Foram quantificadas as áreas de ocorrência dos nichos climáticos dos biomas brasileiros dentro de cada um dos limites oficiais dos biomas. Isso porque o nicho climático dos biomas não corresponde de maneira fidedigna aos limites oficiais estabelecidos para os mesmos. É comum observar encraves de biomas imersos em biomas adjacentes, por exemplo. Além disso, os ecótonos são complexos, o que torna inviável estabelecer fronteiras discretas entre os biomas. Para realizar essa quantificação, foi usada a ferramenta *Patch Analyst* (Kaukinen et al. 2008) no ArcGis 10.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PROJEÇÃO DOS MAPAS DE NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS PARA 2050

Os mapas do nicho climático atual dos biomas brasileiros mostraram-se realistas (Figuras 1 a 6), quando comparados aos limites oficiais dos biomas, de acordo com o mapa do IBGE (2004). A representação dos nichos climáticos nas Figuras de 1 a 6 mostram as áreas com maior adequabilidade climática para a ocorrência dos biomas em marrom e em menor adequabilidade em azul. As áreas hachuradas representam regiões cujo valor de probabilidade de ocorrência do nicho climático do bioma é inferior ao critério de inclusão, de acordo com o limite estabelecido (*Maximum Training Sensitivity Plus Specificity*).

Os resultados indicam que o nicho climático da Amazônia observa redução dos seus limites (Figura 1, Tabela 1) nos dois cenários analisados, onde sua área inicial no território brasileiro ocupa cerca de quatro milhões de Km². E pode ser reduzida a cerca de um milhão de Km² nesse mesmo limite. A previsão é que esse nicho climático ocupe apenas 25% dos limites atuais do bioma Amazônia no cenário tendencial. Suas áreas remanescentes estão localizadas principalmente na região noroeste da Amazônia e ao longo da costa atlântica, indicando o seccionamento dessa distribuição potencial.

O nicho climático que representa a Caatinga também apresentará redução da sua distribuição (Figura 2, Tabela 2), passando de cerca de um milhão de Km² para 712 mil km². Observa-se a fragmentação desse nicho climático nos limites do bioma Caatinga, que é bastante acentuado no cenário tendencial. No cenário otimista é observada a intrusão desse nicho climático nos limites atuais do bioma Cerrado, o que não é observado no cenário tendencial.

A distribuição atual do nicho climático do Cerrado (Figura 3) corresponde a cerca de 2,8 milhões de Km² em todo o território brasileiro (Tabela 3). O Cerrado apresenta intrusões importantes nos limites de todos os outros biomas brasileiros, à exceção do Pampa, o que explica a ampla distribuição do seu nicho climático, excedendo em cerca de 800 mil Km² o limite oficial do bioma. Esse nicho climático tem sua distribuição favorecida nos dois cenários analisados, chegando a cerca de quatro milhões de Km² de extensão. A previsão da ampliação desse envelope climático será notadamente acentuada nos limites da Mata Atlântica e da Amazônia, onde pode estabelecer uma conexão geográfica com os nichos climáticos de biomas savânicos no norte da América do Sul.

Atualmente o nicho climático da Mata Atlântica cobre mais de um milhão de Km² do território nacional. A previsão é que haja redução dessa distribuição para cerca de 500 mil km² no cenário otimista e para 380 mil km² no cenário tendencial (Tabela 4). A redução desses limites deverá ocorrer especialmente ao longo dos afluentes do Rio Paraná, em São Paulo e Minas Gerais, e nas áreas de Floresta Estacional, nos estados Rio de Janeiro e Espírito Santo (Figura 4). As duas regiões são transição com o Cerrado, que apresenta expansão climática dos seus limites para 2050.

A ocorrência do Pampa se dá principalmente na região sul do Brasil e no Uruguai. A distribuição desse nicho climático no cenário otimista tende a aumentar fora dos limites nacionais (Figura 5). No entanto, dentro do Brasil, deverá haver redução da distribuição desse nicho climático (Tabela 5). No cenário tendencial é observada a retração da sua distribuição, tanto dentro quanto fora do país.

Além do Cerrado, o nicho climático do Pantanal é o único a apresentar incremento em distribuição sobre a superfície do território brasileiro, passando de 226 mil Km² para até 231 mil Km² no cenário tendencial (Tabela 6). No cenário otimista, entretanto, ocorre um possível aumento na sua distribuição fora dos limites brasileiros, o que é observado em menor intensidade no cenário tendencial (Figura 6).

A representação dos nichos climáticos dos biomas brasileiros apontam regiões coincidentes com os limites desses biomas. As alterações ilustradas nos mapas em relação ao ano de 2050 não dizem respeito a alterações dos seus limites oficiais, uma vez que a alteração do nicho climático não estabelece uma alteração imediata das comunidades de fauna e flora (Zhu et al. 2012), que são componentes fundamentais no conceito de bioma (Clements 1916).

A ideia de deslocamento da biota é abstrata e infundada no horizonte temporal de 50 anos, devido às limitações de dispersão da maioria das espécies da fauna e da flora (Pearson & Dawson 2003). Diversas alterações climáticas registradas por estudos palinológicos ou isotópicos mostraram uma sucessão de comunidades ao longo do tempo (Silva 2014). Essa sucessão ocorre por meio do surgimento de novas espécies ou por migrações (Faith & Behrensmeyer 2013), e ambos os processos são lentos e graduais, promovendo alterações nas comunidades ao longo de milhares de anos (Ledru et al. 2002, 1998; Ledru 1993; Servant et al. 1993; Ledru 1972; Salgado-Labouriau 2005; Barberi et al. 2000; Parizzi et al. 1998; Salgado-Labouriau 1997; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau 1996).

A água é o fator limitante mais importante para a ocorrência das plantas. As plantas absorvem água do solo pelas raízes e a transportam até as folhas, onde é perdida para a atmosfera, estabelecendo uma coluna contínua de água no sistema solo-planta-atmosfera, obedecendo a um gradiente decrescente de potencial hídrico. O movimento da água através do xilema é baseado na teoria da coesão e tensão, segundo a qual a reposição de água nas folhas após a evaporação deve-se a uma diminuição no potencial de água causada pela evaporação nesses órgãos, que provoca o carreamento de água dos terminais do xilema, de onde a água é conduzida para dentro das folhas. Isso exerce uma pressão negativa na seiva do xilema, que é transmitida para as regiões inferiores da planta até as raízes. Por sua vez, o baixo potencial hídrico das raízes irá conduzir a água do solo para a planta. A coluna contínua de água é mantida pela alta coesão entre as moléculas de água. No entanto, em situações de alta pressão, ocorre a ruptura da coluna de água e entrada de bolhas de ar (cavitação), podendo levar a obstrução do duto (embolia) (Kerbaudy 2004), em alguns casos causando a morte da planta (Melcher & Zwieniecki 2013).

O baixo porte das plantas em ambientes áridos é uma adaptação à prevenção de embolia (Aroca 2012; Lopez et al. 2005), já que a pressão necessária para conduzir a água das raízes às folhas seria muito elevada em decorrência da baixa disponibilidade hídrica no solo e das altas temperaturas que promovem maior evapotranspiração, podendo resultar na ruptura da coluna d'água. Atualmente, com as mudanças climáticas, diversas florestas tropicais estão experimentando diminuição das chuvas e aumento da temperatura, e as plantas estão sujeitas a valores de pressão muito maiores do que os habituais, causando alta mortalidade de diversas espécies como consequência de embolia (Choat et al. 2012). Em longo prazo, a consequência dessas mudanças climáticas pode ser uma nova seleção morfológica das plantas, alterando as características fisionômicas da vegetação nos ambientes hoje ocupados por florestas, e consequentemente a vegetação clímax predominante que caracteriza os biomas (Clements 1916; Clements & Shelford 1939).

A Amazônia é a mais importante floresta tropical brasileira, e alterações fisionômicas desse bioma trariam consequências devastadoras para a paisagem. As previsões indicam que esse é o bioma cujo nicho climático sofrerá maior redução, dando lugar às condições climáticas que favorecem o estabelecimento de uma vegetação savânica. A consequência dessa alteração deverá ser a alta mortalidade de árvores de grande porte, e sua conversão em biomassa seca,

que poderá servir como combustível para grandes incêndios, tanto de origem antrópica quanto de origem natural, promovendo perda irreparável de espécies. A extinção local de espécies nativas pode representar uma oportunidade para a colonização por espécies invasoras e oportunistas (Teller et al. 2016; Bellard et al. 2013), agravando a incidência de incêndios (Setterfield et al. 2013). Assim, a consequência em médio prazo deverá ser a desertificação da região Amazônica que se encontra sob estresse climático, e a perda irreparável da sua biota.

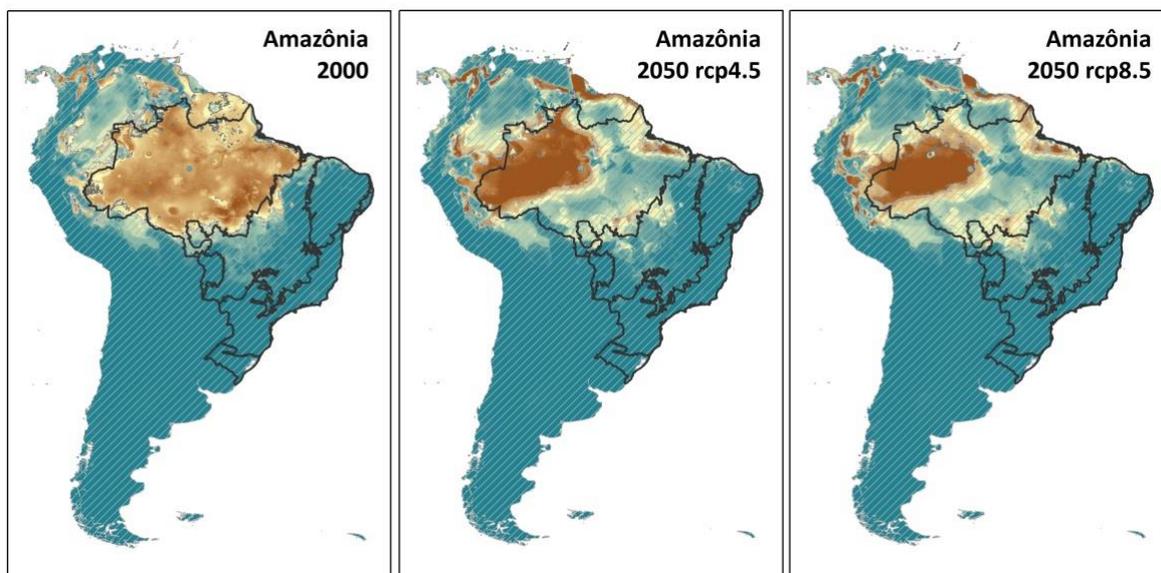


Figura 1. Mapa atual e projeções do nicho climático da Amazônia para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 1. Área total do nicho climático correspondente à Amazônia e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	399,453,769	91,39%	0,49%	8,51%	0,00%	0,00%	0,00%
2050	158,276,972	37,69%	0,74%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%
rcp4,5							
2050	105,205,173	24,98%	0,90%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%
rcp8,5							

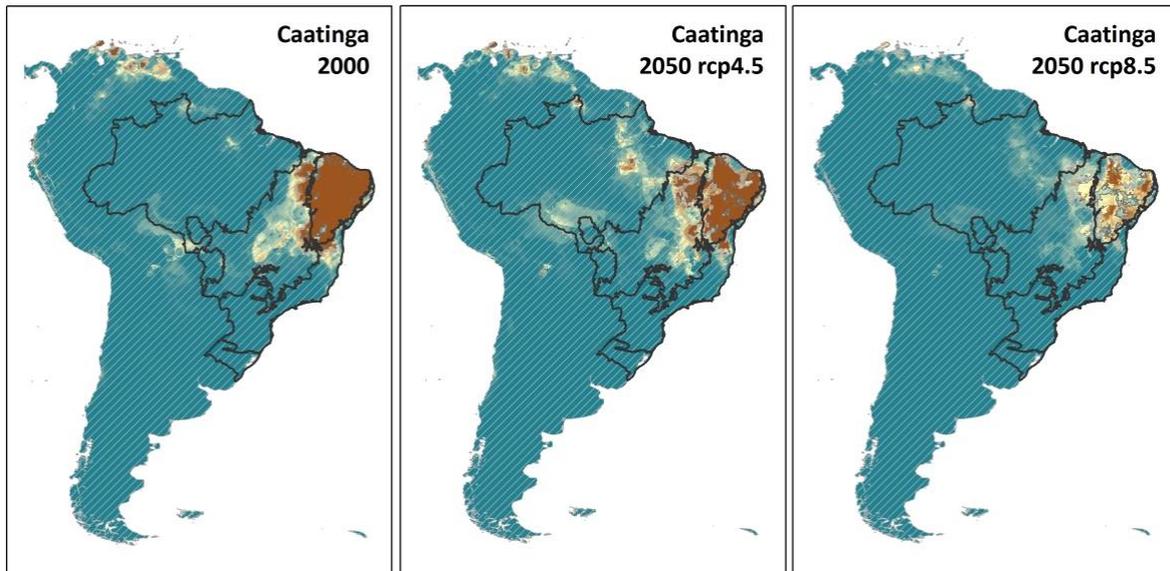


Figura 2. Mapa atual e projeções do nicho climático da Caatinga para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 2. Área total do nicho climático correspondente à Caatinga e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	98,037,145	0,02%	92,47%	7,51%	5,62%	0,00%	0,00%
2050							
rcp4,5	81,593,093	0,48%	70,01%	7,63%	5,59%	0,00%	0,00%
2050							
rcp8,5	71,203,088	0,40%	64,68%	6,28%	2,95%	0,00%	0,00%

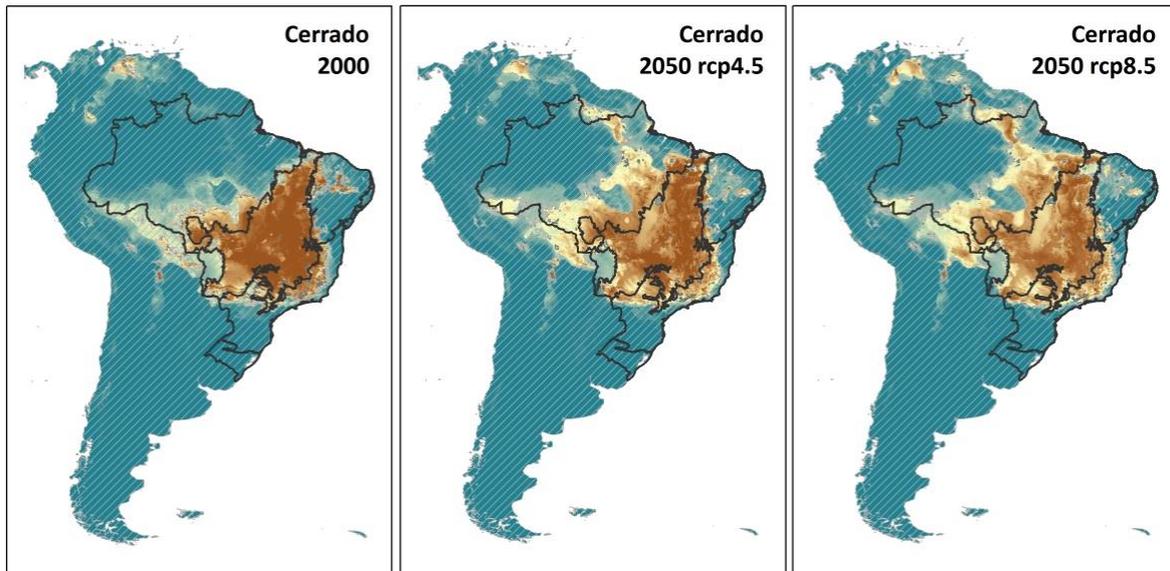


Figura 3. Mapa atual e projeções do nicho climático do Cerrado para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 3. Área total do nicho climático correspondente ao Cerrado e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	288,159,306	9,56%	22,75%	94,93%	30,82%	0,00%	11,59%
2050	404,141,028	34,31%	22,14%	96,58%	39,45%	0,00%	12,86%
rcp4,5							
2050	422,393,654	38,23%	19,14%	95,82%	42,22%	0,00%	31,75%
rcp8,5							

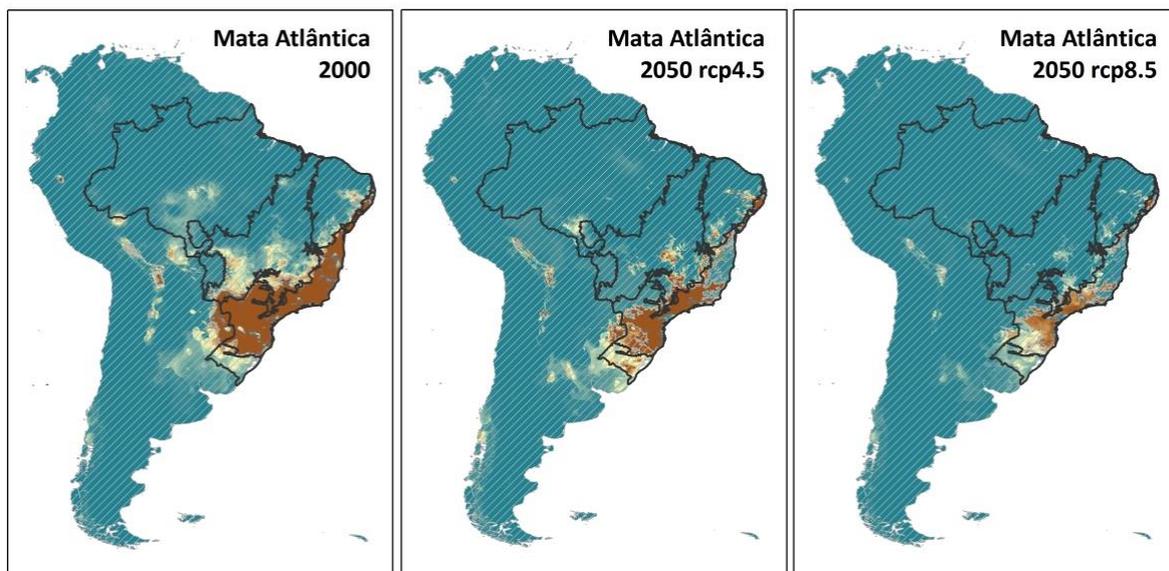


Figura 4. Mapa atual e projeções do nicho climático da Mata Atlântica para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 4. Área total do nicho climático correspondente à Mata Atlântica e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	111,000,935	0,00%	2,28%	7,70%	84,08%	2,42%	0,04%
2050							
rcp4,5	48,801,912	0,00%	0,91%	2,54%	38,77%	0,00%	0,00%
2050							
rcp8,5	37,718,630	0,00%	1,03%	1,22%	31,08%	0,00%	0,00%

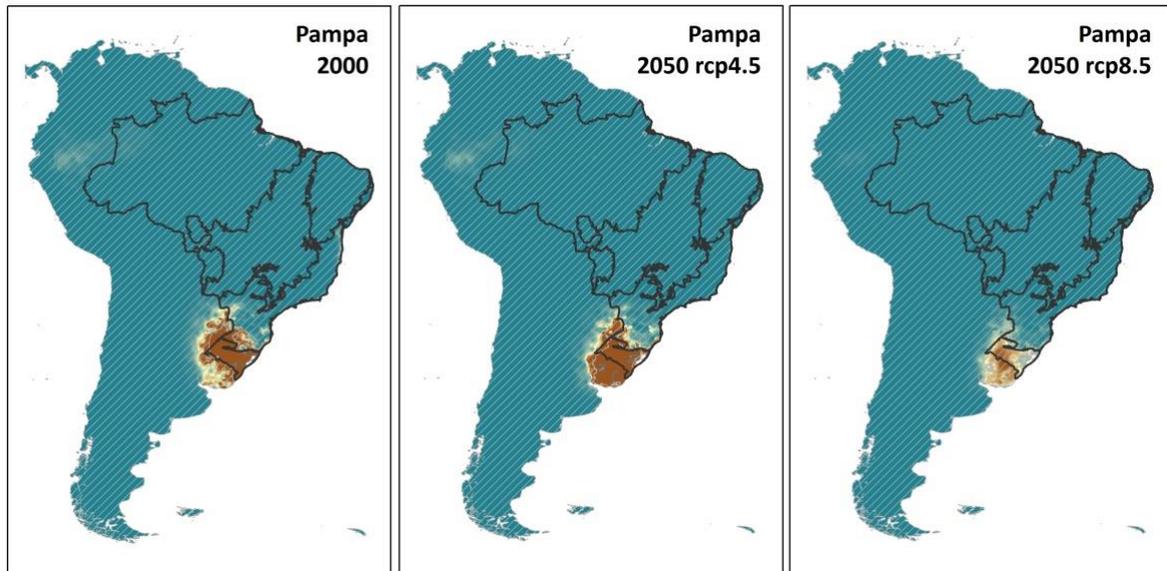


Figura 5. Mapa atual e projeções do nicho climático do Pampa para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 5. Área total do nicho climático correspondente ao Pampa e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	19,858,735	0,00%	0,00%	0,00%	3,57%	93,57%	0,00%
2050	13,903,292	0,00%	0,00%	0,00%	1,20%	73,96%	0,00%
rcp4,5							
2050	13,390,726	0,00%	0,00%	0,00%	0,86%	73,12%	0,00%
rcp8,5							

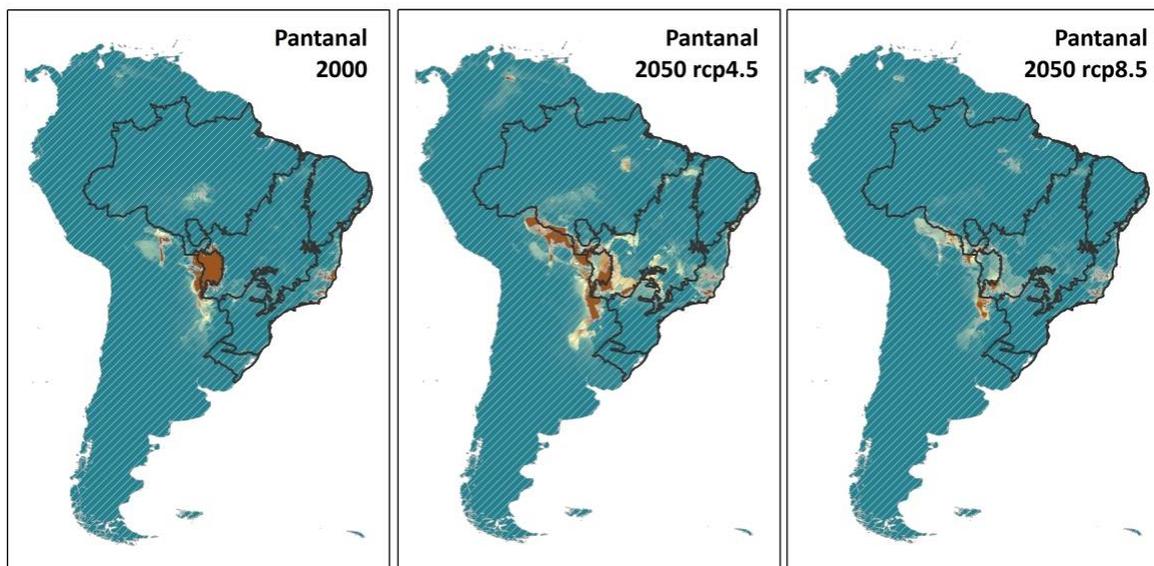


Figura 6. Mapa atual e projeções climáticas do nicho climático do Pantanal para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Tabela 6. Área total do nicho climático correspondente ao Pantanal e o percentual de ocorrência desse nicho climático nos limites oficiais dos biomas brasileiros. Os dados estão informados para o ano de 2000 e para 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

Modelo	Área total (ha)	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	22,604,298	0,16%	0,00%	1,81%	3,04%	0,00%	98,52%
2050							
rcp4,5	22,836,156	1,41%	0,00%	3,38%	3,12%	0,00%	43,66%
2050							
rcp8,5	23,179,438	1,17%	0,01%	3,78%	5,01%	0,00%	33,27%

4.2. ÁREAS DE CONTATO ENTRE OS NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS EM 2000 E 2050

Extrapolações e sobreposições entre dois ou mais nichos climáticos dos biomas são esperados, como observado na Figura 7 para o ano de 2000. A transição ambiental onde comunidades ecológicas coincidem são chamadas de ecótonos (Kark & Rensburg 2006). Os ecótonos podem ser graduais ou discretos, sendo delimitados por acidentes geográficos, como rios, ou podem se estender por dezenas ou até centenas de quilômetros. Nesse caso, os ecótonos são marcados pela ocorrência de manchas de diferentes tipos de vegetação, intercaladas na paisagem, abrigando distintas comunidades ocorrendo lado a lado (Marimon et al. 2006).

A dinâmica de ecótonos é um tema extremamente relevante no cenário de mudanças climáticas. A transição climática pode abrigar populações com suficiente plasticidade fisiológica para colonizar as regiões adjacentes, conforme o clima é alterado. Além disso, a diversidade nos ecótonos pode ser maior do que na região core dos biomas, sendo composta por uma mistura de espécies das duas comunidades que se sobrepõem. Dessa maneira, os ecótonos podem ser extremamente valiosos do ponto de vista da conservação (Kark & Rensburg 2006), porque, apesar de poderem apresentar baixa riqueza local, a complexidade dessas paisagens inclui grande diversidade de organismos (Françoso et al. 2016). Assim, focando a complementariedade de habitats (Margules & Pressey 2000), os ecótonos representam importantes oportunidades de conservação. Podem ainda surgir espécies exclusivas desses ambientes, o que é conhecido como efeito de ecótono (Odum 1953). Por serem reconhecidos como áreas de surgimento de novidades evolutivas, os ecótonos são ainda considerados centros de especiação (Kark & Rensburg 2006).

As propriedades dos ecótonos (e.g. como espécies exclusivas, habitat em mosaicos, maior riqueza do que os biomas adjacentes, entre outras) não são regra geral para todas as transições (Walker et al. 2003). Contudo, estudar essas regiões parece ser uma medida extremamente importante para o entendimento das mudanças climáticas e sua relação com as alterações nas comunidades de fauna e flora (Kark & Rensburg 2006). Além disso, as comunidades dos ecótonos estão naturalmente sob estresse climático, pois muitas vezes, o clima de transição não é favorável a nenhuma das duas comunidades que ocorrem na região.

Assim, essas comunidades podem ter adaptações importantes para enfrentar o estresse climático.

No entanto, as áreas núcleo dos biomas também possuem papel importante para a manutenção da biodiversidade. O centro geográfico se aproxima do centro climático, onde ocorre o clima mais peculiar do bioma. Nessa região há alto endemismo de espécies devido à especiação ecológica em uma área de singularidade climática (Harrison 2013), e maior riqueza local, devido ao efeito do domínio médio. O efeito do domínio médio resulta em maior riqueza de espécies em decorrência do artefato da sobreposição geográfica das áreas de distribuição de diferentes espécies (Colwell & Lees 2000; Gotelli et al. 2009).

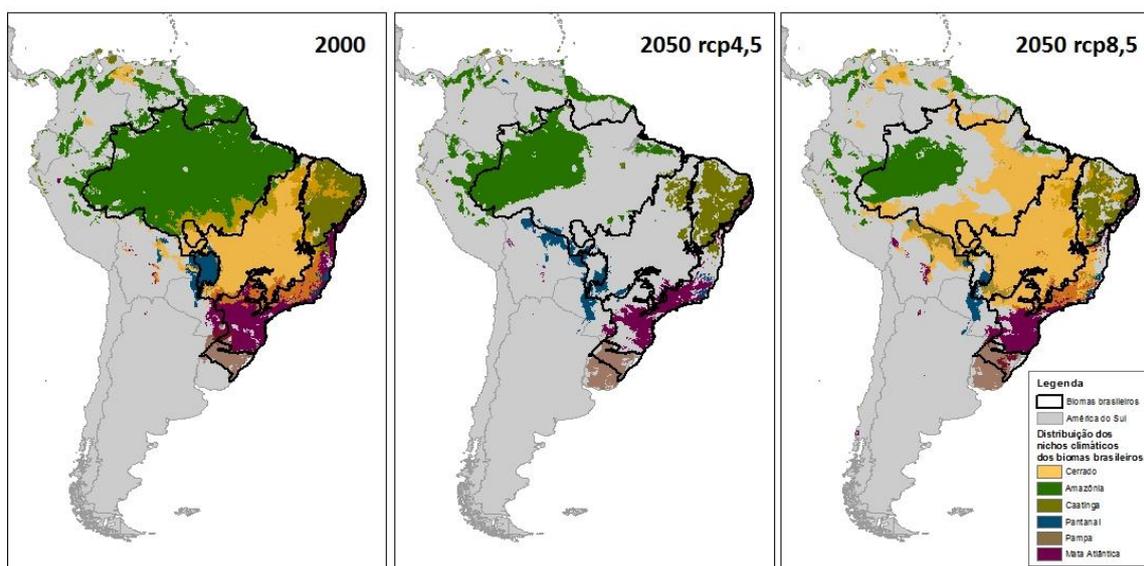


Figura 7. Mapa atual e projeções climáticas do nicho climático do pantanal para o ano de 2050, baseado em modelos hadgem2-es em duas projeções de trajetórias representativas de concentração de gases de efeito estufa (rcp 4,5 e rcp8,5).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Alterações climáticas tão acentuadas nunca foram registradas pelos cientistas, e por isso os processos que irão suceder essas alterações são desconhecidos. Assim, monitorar e proteger as comunidades das regiões sob maior estresse climático, pode ser uma oportunidade para compreender os processos ecológicos e biogeográficos envolvidos em tais alterações, possibilitando a redução nas perdas de biodiversidade. Nesse sentido, é importante que ações específicas de conservação sejam adotadas nos ecótonos, que são regiões em que as mudanças climáticas terão maior e mais imediata incidência. As áreas nucleares dos biomas também devem ser alvo de políticas conservacionistas, onde, de modo geral, as características climáticas são singulares e há maior riqueza e endemismo local.

Devem ser encorajadas pesquisas que visem compreender a dinâmica das populações ao longo dos ecótonos, pois essas populações podem ser extremamente importantes para a colonização de ambientes sob estresse climático. Experimentos fisiológicos podem também apresentar resultados importantes sobre a tolerância das espécies aos parâmetros do clima, apontando estratégias importantes para proteção da biodiversidade.

Os modelos apresentados devem ser validados com dados de campo. Para tanto, sugere-se o estabelecimento de uma rede de monitoramento das comunidades naturais ao longo dos gradientes climáticos observados, podendo-se adotar parte do Sistema de Unidades de Conservação como unidades experimentais. Essa rede teria por objetivo avaliar diferenças na composição das comunidades da fauna e flora, e avaliar a dinâmica da paisagem, com enfoque na distribuição das fitofisionomias naturais e monitorar a ocorrência de incêndios, introdução de espécies exóticas, entre outros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aroca R. 2012. *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*. Springer <http://books.google.de/books?id=OLdk2dQFo3wC>.
- Barberi M, Salgado-Labouriau ML, Suguio K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of 'Vereda de Águas Emendadas', central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 13:241–254.
- Bellard C et al. 2013. Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*. 19:3740–3748. doi: 10.1111/gcb.12344.
- Belsley DA, Kuh E, Welsch RE. 2005. *Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. John Wiley & Sons, Inc.: New York doi: 10.1002/0471725153.ch1.
- Choat B et al. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*. 491:752–5. doi: 10.1038/nature11688.
- Clements FE. 1916. *Plant Succession*. Washington.
- Clements FE, Shelford VE. 1939. *Bioecology*. First edit. John Wiley & Sons / Chapman & Hall: New York, USA/London?UK.
- Colwell RK, Lees DC. 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology & Evolution*. 15:70–76.
- Faith JT, Behrensmeyer AK. 2013. Climate change and faunal turnover: testing the mechanics of the turnover-pulse hypothesis with South African fossil data. *Paleobiology*. 39:609–627. doi: 10.1666/12043.
- Ferraz-Vicentini KR, Salgado-Labouriau ML. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 9:207–219.
- Françoso RD, Haidar RF, Machado RB. 2016. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. *Acta Botanica Brasilica*. 30:1–9. doi: 10.1590/0102-33062015abb0244.
- Gotelli NJ et al. 2009. Patterns and causes of species richness: a general simulation model for macroecology. *Ecology letters*. 12:873–86. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01353.x.
- Harrison SP. 2013. *Plant and Animal Endemism in California Preface and Acknowledgments*. 1st ed. University of California Press: Berkeley, CA.
- IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil. doi:

- www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#USO.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. Ipcc. 31. doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- Jimenez-Valverde A, Lobo JM. 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica*. 31:361–369. doi: 10.1016/j.actao.2007.02.001.
- Kark S, Rensburg BJ van. 2006. Ecotones: marginal or central areas of transition? *Israel Journal of Ecology & Evolution*. 52:29–53. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Kaukinen D et al. 2008. Patch Analyst Developed for ArcGIS. Ontario, Ministry of Natural Resources.
- Kerbaux GB. 2004. *Fisiologia vegetal*. Guanabara Koogan: São Paulo, SP.
- Ledru M. 1993. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. *Quaternary Research*. 39:90–98.
- Ledru M. 1972. Revealed by Palynological Records. *Radiocarbon*. 33–50.
- Ledru M, Mourguiart P, Ceccanti G, Turcq B, Sifeddine A. 2002. Tropical climates in the game of two hemispheres revealed by abrupt climatic change. *Geology*. 30:275–278.
- Ledru M-P, Salgado-Labouriau ML, Lorscheitter ML. 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 99:131–142. doi: 10.1016/S0034-6667(97)00049-3.
- Liu C, Berry PM, Dawson TP, Pearson RG. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*. 28:385–393. doi: 10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x.
- Lopez OR, Kursar T a, Cochard H, Tyree MT. 2005. Interspecific variation in xylem vulnerability to cavitation among tropical tree and shrub species. *Tree physiology*. 25:1553–1562. doi: 10.1093/treephys/25.12.1553.
- Margules CR, Pressey RL. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*. 405:243–53. doi: 10.1038/35012251.
- Marimon BS, De S. Lima E, Duarte TG, Chieregatto LC, Ratter JA. 2006. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the cerrado-amazonian forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany*. 63:323–341.

- doi: 10.1017/S0960428606000576.
- Martin GM et al. 2011. The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*. 4:723–757. doi: 10.5194/gmd-4-723-2011.
- Melcher PJ, Zwieniecki M a. 2013. Functional analysis of embolism induced by air injection in *Acer rubrum* and *Salix nigra*. *Frontiers in plant science*. 4:368. doi: 10.3389/fpls.2013.00368.
- Odum EP. 1953. *Fundamentals of ecology*. W.B. Saunders: Philadelphia.
- Oxford. 2010. *A dictionary of Ecology*. 4th ed. Oxford (United Kingdom).
- Parizzi MG, Kohler HC, Salgado-Labouriau ML. 1998. Genesis and environmental history of Lagoa Santa, southeastern Brazil. *The Holocene*. 8:311–321. doi: 10.1191/095968398670195708.
- Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*. 12:361–371.
- Salgado-Labouriau ML. 2005. Alguns aspectos sobre a Paleoecologia dos Cerrados. In: *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. Scariot, A, Sousa-silva, JC, & Felfili, JM, editors. MMA: Brasília, DF.
- Salgado-Labouriau ML. 1997. Late quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. *Journal of Quaternary Science*. 12:371–379. doi: 10.1002/(SICI)1099-1417(199709/10)12:5<371::AID-JQS320>3.0.CO;2-3.
- Servant M et al. 1993. Tropical forest changes during the late quaternary in African and South American lowlands. *Global and Planetary Change*. 7:25–40. doi: 10.1016/0921-8181(93)90038-P.
- Setterfield SA et al. 2013. Adding Fuel to the Fire: The Impacts of Non-Native Grass Invasion on Fire Management at a Regional Scale. *PLoS ONE*. 8. doi: 10.1371/journal.pone.0059144.
- Silva LCR. 2014. Importance of climate-driven forest–savanna biome shifts in anthropological and ecological research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111:3831–3832. doi: doi/10.1073/pnas.1413205111.
- Singh JS. 2002. The biodiversity crisis: A multifaceted review. *Current Science*. 82:638–

647.

Teller BJ, Zhang R, Shea K. 2016. Seed release in a changing climate: initiation of movement increases spread of an invasive species under simulated climate warming. *Diversity and Distributions*. March 2016:1–9. doi: 10.1111/ddi.12436.

Thomas CD et al. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427:145–148.

Walker S et al. 2003. Properties of ecotones: Evidence from five ecotones objectively determined from a coastal vegetation gradient. *Journal of Vegetation Science*. 14:579–590.

Zhu K, Woodall CW, Clark JS. 2012. Failure to migrate: Lack of tree range expansion in response to climate change. *Global Change Biology*. 18:1042–1052. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02571.x.