



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança – DASS

Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental - CGAM

RODRIGO CÉSAR GONÇALVES DE OLIVEIRA

**BREJOS DE ALTITUDES NORDESTINOS FACE À MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PREDIÇÕES DE
DISTRIBUIÇÃO COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL**

Recife

2017

RODRIGO CÉSAR GONÇALVES DE OLIVEIRA

**BREJOS DE ALTITUDES NORDESTINOS FACE ÀS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: PREDIÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO COMO
FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL**

Monografia apresentada como requisito final do Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientadora: Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos

Recife

2017

**Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro
Cavalcante Fernandes CRB4/16666**

048b
2017

Oliveira, Rodrigo César Gonçalves de.

Brejos de Altitudes Nordestinos Face às mudanças climáticas: predições de distribuição como ferramenta para a gestão ambiental. Rodrigo César Gonçalves de Oliveira --- Recife: O autor, 2017.
50f. il. Color.

TCC (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2017.

Inclui Referências e Apêndices.

Orientadora: Professora Elba Maria Nogueira Ferraz

1. Aquecimento Global. 2. Perda de Habitat. 3. Extinção local. I. Título. II. Ferraz, Elba Maria Nogueira (orientadora). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD363.73874 (22ed.)

**BREJOS DE ALTITUDES NORDESTINOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PREDIÇÕES DE
DISTRIBUIÇÃO COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL**

Trabalho aprovado em Recife, 28 de Junho de 2017

COMISSÃO EXAMINADORA

—
Profa. Dra. Elba Maria Nogueira Ferraz Ramos

—
Prof. Dr. Anselmo César Vasconcelos Bezerra

—
Dr. Jefferson Rodrigues Marciel.

Recife

2017

Aos meus companheiros de estrada que ajudam a carregar o peso do dia a dia

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pelas janelas que Ele tem aberto para que o caminho se torne menos duro.

à minha família que sempre me incentivou na educação

à minha orientadora, Professora Elba Ferraz, por ter acreditado e incentivado que eu preparasse esse trabalho, muito obrigado.

aos professores do IFPE, em especial Profa. Marília Lyra, Prof. Anselmo Bezerra, Prof. Carlos Eduardo, Profa. Alessandra Lee, Profa. Elizabeth Córdula, Prof. Hernande Silva e Prof. Marcos Valença.

aos meus amigos e colegas do Instituto Federal, das diversas turmas que participei, meu carinho e saudades

à amiga Cibele, e ao Bruno Gomes os quais foram importantes em me manter até hoje nesse instituto, muito obrigado

ao meu companheiro Alexander Pehmüller, que nunca largou do meu pé e sempre me incentiva a seguir em frente

aos Jefferson Marciel, quem me introduziu no caminho da modelagem de nicho, por sua amizade, muito obrigado

ao pessoal das secretarias, ao Marcelo e Cássio, que sempre resolveram todos os pepinos administrativos

à todos que direta ou indiretamente me ajudaram a concluir este trabalho

Xote Ecológico

Não posso respirar, não posso mais nadar
A terra está morrendo, não dá mais pra plantar
E se plantar não nasce, se nascer não dá
Até pinga da boa é difícil de encontrar

Não posso respirar, não posso mais nadar
A terra está morrendo, não dá mais pra plantar
E se plantar não nasce, se nascer não dá
Até pinga da boa é difícil de encontrar

Cadê a flor que estava aqui?

Poluição comeu

E o peixe que é do mar?

Poluição comeu

E o verde onde é que está?

Poluição comeu

Nem o Chico Mendes sobreviveu

Luiz Gonzaga

RESUMO

Mudanças climáticas globais podem influenciar drasticamente a distribuição dos ecossistemas, dessa forma afetando a composição florística e faunística por potencializar a perda de habitat, bioinvasão e extinção local. Ecossistemas sensíveis como Florestas Montanas e Submontanas são prioritárias para a conservação. Nessa categoria são classificados os brejos de altitude do Nordeste Brasileiro. Esses ecossistemas são caracterizados por uma flora de Floresta Tropical Úmida, circundados por áreas de Floresta Tropical Seca, conhecida como Caatinga. Ferramentas como os modelos de distribuição de espécies representa uma alternativa tecnológica para prever as influências climáticas sob as floras dos brejos de altitude. Este trabalho objetivou aplicar tal metodologia para verificar as predições de distribuição dos brejos de altitude para os anos de 2050 e 2070, comparando com um modelo de distribuição atual e com os dados de conservação disponíveis na literatura. Para produzir cada modelo, 24 pontos de distribuição das áreas de brejos de altitude foram escolhidas e submetidas a duas análises: a primeira considera as mudanças na temperatura e precipitação e a segunda considera apenas os dados de precipitação. Para cada análise três modelos foram construídos, um para o período pós-revolução industrial, um para o ano de 2050 e o último para o ano de 2070. Cada modelo foi analisado pelos seus valores de AUC (*Area Under Curve*). Nossos resultados sugerem que as floras de brejos de altitude tendem a ser mais influenciadas por mudanças na temperatura e precipitação que apenas por precipitação. Fragmentos de floresta relacionados ao Planalto da Borborema apresentam melhores condições de manter a distribuição de suas floras até o final do século quando comparado aos localizados nas demais regiões analisadas. Unidades de Conservação localizadas em áreas de brejos merecem atenção especial, especialmente a REBIO de Serra Negra, dado o seu isolamento e posição a oeste do Planalto da Borborema. Estratégias de conservação devem ser adotadas para evitar a perda de habitat e extinção local em áreas fora do Planalto da Borborema, devido aos baixos valores de probabilidade de manutenção dos ambientes de brejos.

Palavras chave: aquecimento global, perda de habitat, extinção local.

ABSTRACT

Global climate changes can drastically influence the distribution of global ecosystems, thereby affecting the flora and fauna composition by powering habitat loss, bioinvasion and extinction. Sensible ecosystems such as Montane and sub-Montane floras are priority for conservation. In this category are classified the *brejos de altitude* from Northeast Brazil. These ecosystems are characterized by a flora from Tropical humid Forest surrounded by a Semidecidual Tropical Dry Forest matrix, known as Caatinga. Tools such as the species distribution models turn out as a technological alternative to predict the climatic influences over the *brejos de altitude* flora. This work aimed to apply such methodology to verify the distribution predictions to the *brejos de altitude* for the years 2050 and 2070, by comparing it with an actual distribution model and conservation data available on specialized literature. To build each model, 24 distribution points from *brejos* areas were selected and evaluated by two analyses, the first considers the changes in temperature and precipitation, and a second consider only precipitation. For each analyses three models were built, one for the post industrial revolution time, one for the year 2050 and the last for 2070. Each model was evaluated with the AUC values (Area Under Curve). Our results suggest that the *brejos de altitude* flora tend to be more influenced by changes on the temperature and precipitation than only by precipitation. Forest fragments related to the Borborema Plateau present better conditions to have its flora maintained until the end of the century. Conservation unities located on *brejos de altitude* areas deserve special attention, especially the biological reserve of Serra Negra, due to its isolation and position westwards from the Borborema Plateau. Conservations strategies may be taken to avoid habitat loss and consequent local extinction in areas out of the Borborema Plateau, due to lower probabilities to maintain the *brejos* environment.

Key-words: global warming, habitat loss, local extinction

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Ilustração esquemática dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. Regime de chuvas no leste do Nordeste mostrando as chuvas orográficas que são propiciadas pelo relevo escarpado, formando as vegetações de floresta tropical úmida. 18
- Figura 2** - Imagem de Satélite ilustrativa de um brejo de altitude. Em destaque a Reserva Biológica de Serra Negra (Floresta - PE) circundada por uma vegetação de Caatinga. Créditos da Imagem: Google Inc. © 2016 21
- Figura 3** - Pontos de brejos de altitude no Nordeste Brasileiro considerados para as análises. Escala 1:1.000.000. O autor..... 28
- Figura 4** - Resumo gráfico da metodologia aplicada para dados futuros. Inicialmente foram gerados para cada um dos GCMs um modelo BIOCLIM e um modelo MAXENT (A). Para cada um dos GCMs foi gerado um modelo consenso (B). Os modelos consenso dos GCMs foram mesclados em um modelo médio penalizado pelos valores de AUC, gerando o modelo para aquele determinado período de tempo (C). Foram gerados modelos para o tempo atual, 2050 e 2070 para temperatura mais pluviosidade e apenas para pluviosidade. Para os nomes dos GCMs consultar Tabela 4. 30
- Figura 5** - Mapas ilustrativos dos modelos climáticos futuros para a fitofisionomia dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. Os pontos representam os brejos de altitude amostrados. Para referências de localidades,

consultar Figura2. Os brejos de altitude do sul do Planalto da Borborema tenderão a ter menos alterações nos níveis de temperatura e pluviosidade, ao passo que regiões mais ao norte sofrerão maiores alterações. 32

Figura 6 - Mapas ilustrativos dos modelos climáticos futuros para a fitofisionomia dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro, considerando apenas a precipitação. Os pontos representam os brejos de altitude amostrados. Para referências de localidades, consultar Figura 2. Os brejos do planalto da Borborema apresentam maiores condições de se manterem devido à precipitação. Regiões de brejos na Paraíba e em Sergipe tenderão a ter condições de pluviosidade menos favorável para sua manutenção no futuro. 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos principais Brejos de Altitude, Nordeste, Brasil.	19
Tabela 2 - Brejos de Altitudes que são Unidades de conservação, Nordeste, Brasil.	22
Tabela 3 - Variáveis bioclimáticas disponíveis no Worldclim (HIJMANS <i>et al.</i> , 2005)	24
Tabela 4 - Global Climate Models (GCMs) - Modelos de previsão de climas futuros disponíveis na plataforma do Worldclim.	25
Tabela 5 - Valores de AUC para Temperatura e precipitação ou apenas precipitação. Os valores estão organizados segundo os modelos gerados para os períodos do Tempo Atual, 2050 e 2070 sob os algoritmos BIOCLIM e MAXENT.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Mudanças Climáticas e Biodiversidade	16
3.2	Brejos de altitude: origem, biogeografia e status de conservação.	17
3.3	Distribuição de espécies e modelagem de nicho	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	Aquisição de dados de distribuição dos brejos de altitude.....	27
4.2	Seleção dos modelos climáticos globais (GCMs) e algoritmos de modelagem	27
4.3	Avaliação estatística e construção dos mapas	29
5	RESULTADOS	31
5.1	Avaliação geral dos modelos	31
5.1	Temperatura e precipitação	31
5.2	Precipitação	33
6	DISCUSSÃO	35
6.1	Modelos de distribuição, mudanças climáticas e a manutenção dos brejos de altitude	35
6.2	Unidades de conservação e mudanças climáticas	36
6.2.1	Reserva Biológica de Serra Negra	36
6.2.2	Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro	37
6.2.3	Parque Ecológico João de Vasconcelos Sobrinho	38
6.2.4	Reserva do Patrimônio Natural da Fazenda do Bitury	38
6.3	Áreas prioritárias para conservação	39
7	CONCLUSÕES	40
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE A	47

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são uma das maiores ameaças à biodiversidade do planeta e tendem a alterar drasticamente a composição das floras e faunas de todo o globo (SALA et al.,2000). Muitas dessas alterações têm importância não só biológica como também econômica, uma vez que a biodiversidade é uma fonte renovável de recursos naturais (WALKER; STEFFEN, 1996). Entretanto, estimativas apontam que essas alterações não acontecerão de forma igual em todo o globo, sendo as áreas continentais do hemisfério norte as mais afetadas (SALA, 2000; BERNSTEIN et al.,2008).

No Brasil são escassos os trabalhos que correlacionam a biodiversidade com o impacto das mudanças globais, e em sua maioria estão correlacionados à perdas na agroindústria ou na escassez de água (e.g. ASSAD et al., 2004). Estudos apontam de um modo geral para a redução da disponibilidade de água e constante seca nas regiões de Floresta Tropical Úmida (Floresta Atlântica e Floresta Amazônica), bem como Floresta Tropical Semidecidual Seca (Caatinga) (MARENGO, 2001). Nada se conhece acerca dos impactos das mudanças climáticas globais sob fragmentos de floresta tropical localizados em meio à ambientes de floresta tropical semidecidual, os conhecidos brejos de altitude.

A palavra “brejo” no Nordeste brasileiro se refere ao tipo de ecossistema que ocorre recobrando as áreas de relevo mais elevado da região (ANDRADE-LIMA, 1982), e assim é adotada nesse trabalho. Os brejos são caracterizados por uma flora de floresta tropical úmida circundada por uma matriz de floresta tropical seca, conhecida comumente como Caatinga (PENNINGTON et al., 2000; FERRAZ; RODAL, 2006), o que faz desses ecossistemas únicos. Apesar de possuírem uma fitofisionomia singular na região de ocorrência, análises de agrupamentos revelam mais de dois tipos de floras, alguns grupos de espécies com maior afinidade com a Caatinga e outros com a Floresta Tropical Atlântica (SANTOS et al., 2007). Áreas montanas e submontanas são tratadas como prioritárias para a conservação, dentre elas os brejos de altitude que ocorrem no Nordeste do Brasil.

As mudanças climáticas tendem a gerar alterações nos regimes de chuvas em todo o planeta, afetando comunidades locais. Nos brejos de altitude do Nordeste,

a presença dessas elevações representa um fator ambiental de extrema relevância, uma vez que contribui para que ocorra as chuvas orográficas e um maior aporte de água para o sistema (BRAGA et al., 2002), em comparação as demais áreas predominantes na região (vegetação de Caatinga). Como consequência desse maior suprimento de água, houve o estabelecimento de uma floresta tropical úmida com flora bem característica (ANDRADE-LIMA, 1982). Plantas de brejos de altitude têm grande dependência da disponibilidade de água, estudos em florestas de brejos mostram que a diversidade de espécies de plantas em zonas ripárias presentes em brejos altitude são maiores que em zonas mais secas, (ANDRADE et al., 2006).

Brejos de altitude são ambientes muito sensíveis dada a sua localização em uma matriz semiárida e sua dependência das chuvas orográficas. Os brejos vêm sofrendo pressão antrópica em diversos níveis que têm contribuído para a retirada da cobertura vegetal, por exemplo, pela ação do fogo que tem um papel redutor de diversidade de espécies locais, como observado para uma floresta sub-montana no estado da Paraíba (XAVIER et al., 2011). Além disso, por seu isolamento característico, os brejos de altitude correspondem a fragmentos de floresta atlântica (SANTOS; TABARELLI, 2004). Desse modo, tais fragmentos devem ser suscetíveis aos mesmos efeitos de isolamento observados nos fragmentos costeiros, como homogeneização biótica, perda de biodiversidade e pressão antrópica (LÔBO et al., 2011). Apesar dos esforços dos governos em esfera federal e estadual, com a elaboração de políticas públicas visando o enfrentamento de mudanças climáticas, há uma escassez de unidades de conservação em áreas de brejos de altitude, o que pode tornar a extinção desses ambientes iminente.

Uma metodologia que tem permitido atrelar informações de distribuição com informações climáticas futuras são os modelos de distribuição de espécies (*Species distribution modeling* - SDM). A produção de SDMs é fundamentada em algoritmos que predizem a probabilidade de ocorrência de uma dada espécie ou fitofisionomia em um espaço geográfico a partir da comparação da distribuição com modelos climáticos, incluindo informações como temperatura e pluviosidade (HIJMANS, 2005). Essa metodologia gera modelos de distribuição em duas dimensões que representa as probabilidades de ocorrência de uma espécie ou de uma fitofisionomia em uma dada área.

Modelos de distribuição de espécies têm aplicações variadas, tendo sido utilizados para prever os prováveis processos de dispersão de vetores de doenças (KARNEY et al., 2009), para explicar eventos biogeográficos passados de domínios, como a Floresta Atlântica ou a Caatinga (e.g. CARNAVAL; MORITZ, 2006; WERNECK et al., 2011; COLLEVATTI et al., 2013), a filogeografia (e.g. LIMA et al.,2014), bem como para prever influências das mudanças climáticas sob a distribuição futura de espécies.

Desse modo, é possível utilizar informações obtidas através de SDMs, com a finalidade avaliar os efeitos das mudanças climáticas. Estes modelos são capazes de identificar áreas mais sensíveis às mudanças climáticas, de modo que esta ferramenta pode gerar informações relevantes à gestão dos Brejos de Altitude em longo prazo, constituindo-se, assim, como objeto de estudo do presente trabalho.

2 OBJETIVO GERAL

- Averiguar as predições da distribuição da flora dos brejos de altitude, adquiridas via SDMs, para os anos de 2050 e 2070, comparando com a distribuição nas condições atuais e dados de conservação disponibilizados em literatura especializada à fim de auxiliar na tomada de estratégia de conservação e gestão dessas áreas a longo prazo.

2.1 Objetivos Específicos

- Verificar as possíveis influências de temperatura e precipitação na distribuição dos brejos de altitude para os anos de 2050 e 2070, a partir dos modelos de probabilidade de ocorrência gerados por SDMs.
- Verificar as possíveis influências das alterações na precipitação na distribuição dos brejos de altitude para os anos de 2050 e 2070, a partir dos modelos de probabilidade de ocorrência gerados por SDMs.
- Identificar áreas de brejos de altitude prioritárias para a conservação que seriam eventualmente afetadas pelas alterações climáticas futuras.
- A partir das predições fundamentadas nas condições de temperatura e precipitação para os anos de 2050 e 2070, inferir quanto às influências de mudanças climáticas sob as unidades de conservação em áreas de brejo de altitude.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mudanças Climáticas e Biodiversidade

As mudanças climáticas globais são um desafio à conservação da biodiversidade mundial. Essas alterações são normalmente heterogêneas e afetam de forma diferente diferentes partes do planeta (BERNSTEIN et al., 2008). As temperaturas globais tem aumentado em cerca de 0,2° C por década, desde os anos 1970 e a média de precipitação – como um resultado do calor - tem aumentado em 2% nos últimos 100 anos (BERNSTEIN et al., 2008). Mudanças drásticas têm potencial em extinguir os ambientes naturais, e tem como principais agentes causadores de perda de biodiversidade as mudanças na forma de uso dos solos, aumentos das concentrações de gases estufa atmosféricos, deposição de chuvas ácidas e nitrogênio, alterações climáticas e invasões biológicas (SALA *et al.*, 2000).

Dentro do contexto das prioridades de conservação frente às mudanças climáticas, estão as floras de montanhas (UNCED, Rio de Janeiro, 1992), por serem fontes de recursos naturais e por abrigarem uma biodiversidade com muitas espécies ameaçadas de extinção. Estudos macroecológicos apontam que regiões montanas subtropicais sofrerão muito mais por aspectos de mudanças climáticas que por perturbações antrópicas. Regiões montanas tropicais, como os brejos de altitude da região Nordeste do Brasil, tenderão a sofrer grande influência de fatores bióticos como principal fonte de perturbação, muito menos que alterações climáticas (SALA et al., 2000).

A maior influência das mudanças climáticas à flora dos brejos de altitude, aparenta não estar especificamente no aumento da temperatura, mas nas alterações na quantidade de precipitação e na sua influência para a manutenção das floras. Mudanças climáticas globais e o crescimento populacional humano são considerados as principais causas para a futura escassez de água (GOSLING; ARNEL, 2016). Esses dois fatores serão responsáveis, por exemplo, pela alteração do fluxo nos cursos dos rios nos próximos anos (ARNEL; GOLSING, 2013). Espera-se que em 2050 as mudanças climáticas serão responsáveis, por exemplo, por alterações maiores que as observadas pela retirada de água e construção de barragens nos últimos 50 anos (DÖLL; ZHANG, 2010). Estudos apontam em todos

os cenários testados que no Nordeste brasileiro haverá uma redução de até 5% no escoamento de água nos rios (ARNELL; GOSLING, 2013).

Os efeitos das mudanças climáticas sobre as espécies tendem a ser muito deletérios e interferir desde o nível de indivíduo, população e ecossistema (BELLARD et al., 2012). Mudanças climáticas também podem ser responsáveis por alterações nas funções ecológicas dos ambientes, como os serviços de polinização e dispersão de sementes, que podem ser severamente afetados, gerando perdas de biodiversidade, uma vez que cerca de 80% das espécies vegetais são polinizadas ou dispersas por animais (POTTS et al., 2010). A extinção de linhagens crípticas pode ser um outro fator de destruição da biodiversidade (BÁLINT et al., 2011). Além disso, quando associados o aquecimento global com altas taxas de luminosidade, há uma tendência de danificar o sistema fotossintético de plantas, como observado para algumas bromélias (CHAVES et al., 2017).

3.2 Brejos de altitude: origem, biogeografia e status de conservação.

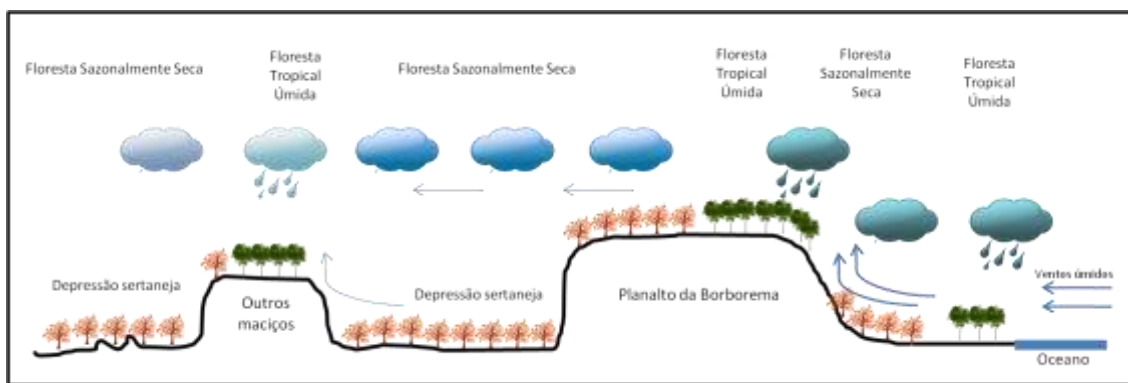
O Nordeste brasileiro é caracterizado pela presença de dois principais biomas, a Floresta Tropical (Floresta Atlântica) e a Floresta Tropical Semidecidual Seca (Caatinga) (LEAL et al., 2005; SIQUEIRA-FILHO; LEME, 2006). Ao norte do Rio São Francisco pode-se encontrar duas regiões com floresta tropical, a floresta costeira que compreende o centro de endemismo Pernambuco (PRADO, 2003) e as florestas de altitude, conhecidas como Brejos de Altitude ou Brejos Nordestinos (Figura 1) (DA SILVA; CASTELLETTI, 2003).

Esses ambientes são caracterizados por florestas de altitude, entre 500 e 1100 m, recebendo chuvas orográficas acima dos 1200 mm por ano (TABARELLI; SANTOS, 2004; ANDRADE-LIMA, 2014). Os Brejos de altitude tratam-se de florestas que variam de semidecíduais a ombrófilas e estão circundados por vegetação de Caatinga (FERRAZ; RODAL, 2006), como exemplo pode-se observar na Figura 2 o Brejo de Serra Negra no município de Floresta - PE. Na literatura são citadas várias localidades como brejos de altitudes, especialmente os situados no Planalto da Borborema (AL, PE e PB), Serra do Baturité (CE) e Serra da Guia (SE), listados na Tabela 1.

Brejos de altitude são em seu estado atual considerados fragmentos de Floresta Atlântica, sofrendo impactos negativos semelhantes àqueles observados na

Floresta Atlântica costeira (SANTOS; TABARELLI, 2004; LÔBO et al.,2011). É comum, por exemplo, a presença de jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), uma espécie exótica invasora que causa redução da diversidade de espécies em brejos como o presente em Areia – PB (FABRICANTE et al., 2013).

Figura 1 - Ilustração esquemática dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. Regime de chuvas no leste do Nordeste mostrando as chuvas orográficas que são propiciadas pelo relevo escarpado, formando as vegetações de floresta tropical úmida.



Fonte: o autor.

Existem algumas hipóteses que tentam delimitar a origem dessa flora úmida em um ambiente seco. Uma das mais proeminentes é a da ponte atlântica-amazônica, a qual postula que em um determinado momento da história as florestas tropicais Atlântica e Amazônica tiveram uma ligação ao norte, de modo que com a retração dessas florestas alguns enclaves de floresta tropical ficaram remanescentes (ANDRADE-LIMA, 1982). Uma segunda hipótese é que a Floresta Atlântica ao norte do São Francisco compreende uma unidade biogeográfica diferente da floresta a Sul, pela presença de componentes amazônicos lenhosos (ANDRADE-LIMA, 1982). Uma terceira hipótese argumenta que os Brejos de Altitude correspondem a uma unidade biogeográfica diferente da Floresta Atlântica costeira e da Floresta Amazônica (DA SILVA; CASTELLETI, 2003).

Tabela 1 - Levantamento dos principais Brejos de Altitude, Nordeste, Brasil.

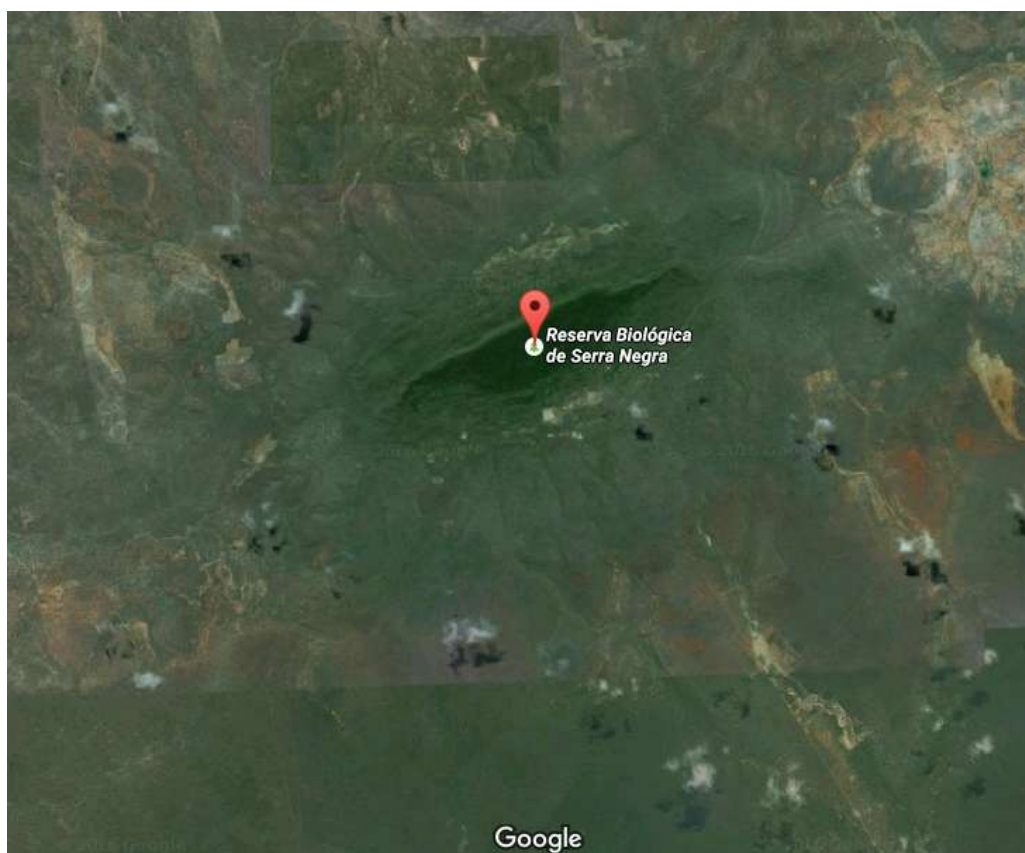
Brejo	Município/Estado	Latitude	Longitude
Planalto da Borborema			
Serra do Olho D'água do Tatu	Belo Jardim – PE	8° 23' 32.1 S	36° 26' 33" W
Serra Negra de Bezerros	Bezerros-PE	8° 14' S	35° 45' W
Reserva Ecológica Municipal	Bonito-PE	8° 29' 40" S	35° 41' 45" W
Fazenda Bitury	Brejo da Madre de Deus – PE	8° 12' 55,9"S	36° 23' 12,8" W
Reserva Biológica de Serra Negra	Floresta– PE	8° 39' 18.2" S	38° 01' 31.9" W
Calixto	Gravatá – PE	8° 16' 42.2" S	35° 33' 05.4" W
Pirauia	Macaparana – PE	7° 30' 06.2" S	35° 29' 00,4" W
Serra do Ororubá	Pesqueira – PE	8° 20' 27" S	36° 46' 59" W
Fazenda Balãozinho	Poção – PE	8° 11' S	35° 30' W
Mata do Estado	São Vicente Férrer - PE	7° 38' S	35° 22' W
Mata da Torre	Taquaritinga do Norte - PE	7° 54' 19" S	36° 01' 27" W
Sítio queimados	Taquaritinga do Norte - PE	7° 53' 19.4" S	36° 01' 16.6" W
Mata do Carro Quebrado	Triunfo – PE	7° 52' 19.4" S	38° 06' 14.7" W
Pico do Papagaio	Triunfo – PE	7° 49' 43.5" S	38° 03' 21.8" W
Brejo de águas belas	Águas Belas – PE	9° 06' S	37° 07' W
Brejo de Camoncim de S. Félix	Camocim de S. Félix -PE	8° 12' S	35° 48' W
Brejo de Jataúba	Jataúba – PE	7° 59' S	36° 29' W
Brejo dos Cavalos	Caruaru – PE	8° 17' S	36° 57' W
Parque Estadual da Mata do Pau-Ferro	Areia – PB	6° 58' 12" S	35° 42' 15" W
Serra do Boqueirão	São José da Lagoa Tapada – PB	7° 1' 30" S	38° 27' W
Formação Catimbau			
Parque Nacional do Catimbau	Buíque – PE	8° 35' 01.3" S	37° 14' 21,6" W
Serra de Teixeira			
Pico do Jabre	Maturitéia – PB	7°11'10" S	37°08'22" W
Serra Negra - SE			
Serra da Guia	Poço Redondo – SE	9° 58' 55" S	37° 52' 06" W
Serra do Baturité			
Serra do Baturité	Baturité – CE	4° 15' S	38° 55' W

Fontes: CAVALCANTE et al., 2000; LOURENÇO; BARBOSA, 2003; MACHADO et al., 2012; FERRAZ et al., 1998; PÔRTO et al., 2004; RODAL et al., 2008; ROCHA; AGRA, 2002; SIQUEIRA-FILHO; LEME, 2007; VIEIRA et al., 2014; YANO et al., 2004.

Endereçando a similaridade biogeográfica dos Brejos de Altitude, Floresta Amazônica, Floresta Atlântica Nordestina (costeira) e Floresta Atlântica a Sul, Santos *et al.*, (2007) realizou uma análise de agrupamento a partir de dados de distribuição de espécies. Seus resultados evidenciaram que os brejos de altitude localizados no Planalto da Borborema tem grande similaridade entre si, excluindo aquele encontrado na Serra do Baturité, que é mais similar a Floresta Atlântica costeira e a Floresta Amazônica (SANTOS *et al.*, 2007). Estudos subsequentes, porém, sugerem que os brejos de altitude no Planalto da Borborema apresentam uma flora diversificada e mista, incluindo elementos da Floresta Atlântica costeira (fragmentos mais próximos da costa centro ao leste do Planalto da Borborema) e da caatinga (fragmentos localizados do centro ao oeste da Borborema) (FERRAZ *et al.*, 2004; RODAL *et al.*, 2008). A partir desses estudos, é possível observar que os Brejos de Altitude não compõem uma unidade biogeográfica única, e sim um mosaico de espécies com uma fitofisionomia característica (SANTOS *et al.*, 2007; RODAL *et al.*, 2008).

Endereçando a similaridade biogeográfica dos Brejos de Altitude, Floresta Amazônica, Floresta Atlântica Nordestina (costeira) e Floresta Atlântica a Sul, Santos *et al.*, (2007) realizou uma análise de agrupamento a partir de dados de distribuição de espécies. Seus resultados evidenciaram que os brejos de altitude localizados no Planalto da Borborema tem grande similaridade entre si, excluindo aquele encontrado na Serra do Baturité, que é mais similar a Floresta Atlântica costeira e a Floresta Amazônica (SANTOS *et al.*, 2007). Estudos subsequentes, porém, sugerem que os brejos de altitude no Planalto da Borborema apresentam uma flora diversificada e mista, incluindo elementos da Floresta Atlântica costeira (fragmentos mais próximos da costa centro ao leste do Planalto da Borborema) e da caatinga (fragmentos localizados do centro ao oeste da Borborema) (FERRAZ *et al.*, 2004; RODAL *et al.*, 2008). A partir desses estudos, é possível observar que os Brejos de Altitude não compõem uma unidade biogeográfica única, e sim um mosaico de espécies com uma fitofisionomia característica (SANTOS *et al.*, 2007; RODAL *et al.*, 2008).

Figura 2 - Imagem de Satélite ilustrativa de um brejo de altitude. Em destaque a Reserva Biológica de Serra Negra (Floresta - PE) circundada por uma vegetação de Caatinga.



Fonte: Google Inc. © 2016

Quanto à composição florística, esta tem se mostrado variada em função do gradiente de altitude. Em uma região a oeste do Planalto da Borborema (Brejo de Triunfo), foi identificada a dominância de algumas espécies em diferentes altitudes, ocorrendo desde espécies características das cotas mais altas e com elevada umidade até espécies típicas das cotas mais baixas e em condições de menor umidade. (FERRAZ et al., 2008).

Estudos da contribuição dos brejos de altitude para população são escassos. A notar, o Brejos dos Cavalos que corresponde ao Parque Municipal Vasconcelos Sobrinho, contribui para o abastecimento de populações urbanas próximas (BRAGA et al., 2002). O brejo da Mata do Pau Ferro também é utilizado para a captação de água (SILVA et al., 2006).

Apesar da importância biológica e ecológica dos brejos de altitude, apenas quatro áreas de brejos são Unidades de Conservação (Tabela 2), e há ainda a

sugestão de criação de mais uma na Mata do Sirigi, em São Vicente Férrer – PE (PERNAMBUCO, 2014).

Tabela 2 - Brejos de Altitudes que são Unidades de conservação, Nordeste, Brasil.

Área de Proteção	Localidades	Área	Esfera	Plano de manejo	Criação
Reserva Biológica de Serra Negra	Floresta e Inajá – PE	1.100 ha	Federal	Sim	Decreto Federal Nº 87.591/1982
Parque Ecológico João de Vasconcelos Sobrinho	Caruaru - PE	359 ha	Municipal	Não	Lei Municipal Nº 2.796/1983
RPPN Fazenda Bituri	Brejo da Madre de Deus - PE	100,23 ha	Particular	Não	Decreto Estadual/PE Nº 19.815/1997
Parque Estadual da Mata do Pau-Ferro	Areia - PB	607 ha	Estadual	Não	Decreto Nº 26098/2005

Além do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC – Lei 9.985/2000) e dos sistemas estaduais de Unidades de Conservação, outras leis e agendas federais e estaduais são adotadas. Políticas públicas específicas de combate às mudanças climáticas foram implementadas, a principal delas a Lei 12.187/2009 que estabelece a Política Nacional de Mudanças Climáticas. Especificamente nas áreas dos brejos de altitude podemos destacar a Lei estadual 14.090/2010 do estado de Pernambuco e a Lei estadual 9.336/200 do Estado da Paraíba que estabelecem diretrizes e norteiam o trabalho do enfrentamento às mudanças climáticas nessas áreas. Entretanto essas leis ainda não geram ações efetivas de proteção ou enfrentamento dessas mudanças.

3.3 Distribuição de espécies e modelagem de nicho

A distribuição geográfica de espécies é geralmente representada por mapas temáticos e reflete uma infinidade de padrões espaciais, temporais e biológicos,

como a capacidade de dispersão de uma espécie, a distribuição espacial das condições ambientais (solo e clima) favoráveis ao desenvolvimento da espécie, bem como das relações ecológicas presentes nos ambientes (SOBERÓN, 2009). São essas características bióticas e abióticas inerentes às espécies que determinam a permanência de uma espécie na sua área de ocorrência, ou o nicho ecológico (HOLT et al., 2003). Entretanto o nicho ecológico pode estar relacionado a uma intrincada relação entre esses dois tipos de variáveis, relacionadas como duas definições de nicho. A definição Eltoniana (ELTON, 1927) enfatiza o papel das interações ecológicas na distribuição das espécies, principalmente a competição. De forma adversa a Grinelliana (GRINELL, 1917) enfatiza o papel do ambiente (SOBERÓN, 2009; ROSADO et al., 2016). Ambas as definições de nicho são muito importantes para entender a distribuição das espécies, porém por sua característica de amplitude, a definição Grinelliana é a utilizada para estudos de distribuição em macroescala (SOBERÓN, 2009).

Dentre os tipos de estudos em macroescala destacam-se os SDM (*Species distribution model* – Modelagem de distribuição de espécies), que correspondem a modelos probabilísticos que correlacionam os dados de distribuição disponíveis com dados climáticos em forma de mapas (GUISAN; THUILLER, 2005). Os procedimentos realizados em tais análises seguem um fluxo de trabalho que se inicia com o levantamento das hipóteses, seguindo-se do levantamento de dados, testes de adequação do modelo, avaliação do modelo, predição espacial e verificação da aplicabilidade (GUISAN; ZIMMERMAN, 2000).

Dados da ocorrência de espécies são disponíveis em algumas plataformas públicas on-line como a brasileira CRIA (SPECISELINK) e a internacional GIBF (FLEMONS et al., 2007). Essas duas bases de dados são as mais utilizadas e são fundamentadas em dados de distribuição fornecidos por coleções biológicas (SPECIESLINK, cont upd., FILEMONS et al., 2007). Dados climáticos estão disponíveis na plataforma Worldclim, em forma de *rasters* geográficos, contendo informações de alta resolução obtidas através de plataformas de coleta entre 1950 e 2000 em todo o planeta (HIJMANS et al., 2005). Esses dados foram tratados em vários modelos climáticos extrapolados para o tempo presente, climas pretéritos e climas futuros (HIJMANS et al., 2005, OTTO-BLIESNER et al., 2008), utilizando diversos modelos matemáticos de probabilidade. Esses modelos são

fundamentados nas variáveis de temperatura e pluviosidade, gerando 19 variáveis bioclimáticas (Tabela 3) (HIJMANS et al., 2005).

Tabela 3- Variáveis bioclimáticas disponíveis no Worldclim (HIJMANS et al., 2005)

Variável	Dados disponíveis
Bio1	Temperatura anual média
Bio2	Média do tamanho do dia
Bio3	Isotermalidade (Bio2/Bio7)
Bio4	Sazonalidade da temperatura
Bio5	Temperatura máxima no mês mais quente
Bio6	Temperatura mínima no mês mais frio
Bio7	Amplitude da temperatura anual (Bio5/Bio6)
Bio8	Temperatura média no trimestre mais úmido
Bio9	Temperatura média no trimestre mais seco
Bio10	Temperatura média no trimestre mais quente
Bio11	Temperatura média no trimestre mais frio
Bio12	Precipitação anual
Bio13	Precipitação no mês mais quente
Bio14	Precipitação no mês mais seco
Bio15	Sazonalidade na precipitação
Bio16	Precipitação no trimestre mais úmido
Bio17	Precipitação no trimestre mais seco
Bio18	Precipitação no trimestre mais quente
Bio19	Precipitação no trimestre mais frio

Fonte: Worldclim

Os dados de distribuição e variáveis bioclimáticas são correlacionados através de algoritmos do tipo envelope (DOMAIN e BIOCLIM), ‘*Machine Learning*’ (MAXENT, RANDOMFOREST) e métodos de regressão (GLM) (HIJMANS et al., 2015). O modelo BIOCLIM é um dos mais simples (NIX, 1986), ele envolve a categorização da ocorrência de espécies (apenas presença) para cada uma das variáveis ambientais, cortando ao final um limite de 5% da distribuição marginal de cada uma das variáveis e por fim tomando a conjunção dos dados tratados para produzir um mapa final, descrevendo em cada uma das células do mapa a presença ou ausência das condições favoráveis para a ocorrência da espécie modelada (PETERSON; VIEGAS, 2001). O MAXENT (PHILLIPS et al., 2004) (Máxima entropia) utiliza dados de presença da espécie e a partir dele cria um mapa saturado

de ausências (*background* – plano de fundo), que é utilizado como referência para os cálculos das maiores probabilidades de ocorrência de determinada espécie, dadas as variáveis ambientais e os dados de presença. Os resultados do MAXENT são dados logísticos que tentam estimar a probabilidade de uma espécie estar presente, dado o ambiente (ELITH et al., 2011).

Tabela 4 - Global Climate Models (GCMs) - Modelos de previsão de climas futuros disponíveis na plataforma do Worldclimm.

GCM	Código	GCM	Código
ACCESS1-0 (#)	AC	HadGEM2-ES	HE
BCC-CSM1-1	BC	INMCM4	IN
CCSM4	CC	IPSL-CM5A-LR	IP
CESM1-CAM5-1-FV2	CE	MIROC-ESM- CHEM (#)	MI
CNRM-CM5 (#)	CN	MIROC-ESM (#)	MR
GFDL-CM3	GF	MIROC5 (#)	MC
GFDL-ESM2G	GD	MPI-ESM-LR	MP
GISS-E2-R	GS	MRI-CGCM3	MG
HadGEM2-AO	HD	NorESM1-M	NO
HadGEM2-CC	HG		

Fonte: Worldclimm

Cada uma das variáveis bioclimáticas é extraída de dados de precipitação e temperatura adquiridos de bancos de dados e plataformas de coletas entre 1995 e 2005. Esses dados são disponibilizados em diferentes resoluções e têm níveis de confiabilidade diferentes para cada parte do planeta (HIJMANS, 2005). Dados de mudanças climáticas futuras foram estimados a partir de dados do CIMP5 (CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project – Projeto de intercomparação de modelos acoplados – BERNSTEIN *et al.*, 2008). Uma gama de modelos (GCMs – *Global Climate Models* – Modelos Climáticos Globais) estão disponíveis para essas variáveis (Tabela 4). Cada um desses modelos plausíveis preveem cenários similares (MEEHL *et al.*, 2007). Modelagens climáticas futuras têm utilizado vários números de GCMs, desde apenas um até seis (GOLSING; ARNELL, 2016).

Uma vez que os dados são gerados em uma curva logística, a avaliação da sensibilidade dos modelos é feita pela análise da curva de ROC (*Receiver Operating Characteristic* – Alvo de Característica Operacional), conhecida como AUC (*Area Under Curve* – Área sob a curva) (JIMÉNEZ-VALVERDE, 2012). A análise estatística de AUC foi amplamente adotada por trabalhos de modelagem de nicho por serem

independentes de uma estatística limitante (*Threshold*), levando em consideração a sensibilidade (Se) e a especificidade (Sp) do modelo [$AUC = Se(1-Sp)$] (JIMÉNEZ-VALVERDE, 2012). De uma forma geral os valores de AUC devem estar entre 0,5 e 1 para que possam ser considerados modelos viáveis (PETERSON et al., 2008; JIMÉNES-VALVERDE, 2012). Porém valores de AUC acima de 0,9 são considerados como as melhores predições (SWETS, 1988).

A junção e comparação de diferentes modelos têm sido sugeridas para aperfeiçoar as projeções da distribuição de espécies (THUILLER, 2003). Esses métodos são mesclados e comparados com uma ponderação apropriada (THUILLER, 2009). Uma das formas mais apropriadas é a criação de um modelo consenso, fundamentado na média entre diferentes modelos, que teoricamente representam como uma de suas limitações o sinal da distribuição real daquela espécie (ARAÚJO; NEW, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Aquisição de dados de distribuição dos brejos de altitude

Utilizando uma abordagem semelhante à Werneck et al. (2011), definimos a distribuição da fitofisionomia a partir de dados secundários da literatura, englobando desde levantamentos florísticos e fitossociológicos até trabalhos específicos que tratavam de caracterização dos brejos de altitude, resultando em uma base de dados de ocorrência das comunidades de brejos de altitudes, a qual foi meticulosamente corrigida. Desse modo 24 pontos de distribuição de áreas dos brejos foram selecionados (Figura 3, Tabela 1).

4.2 Seleção dos modelos climáticos globais (GCMs) e algoritmos de modelagem

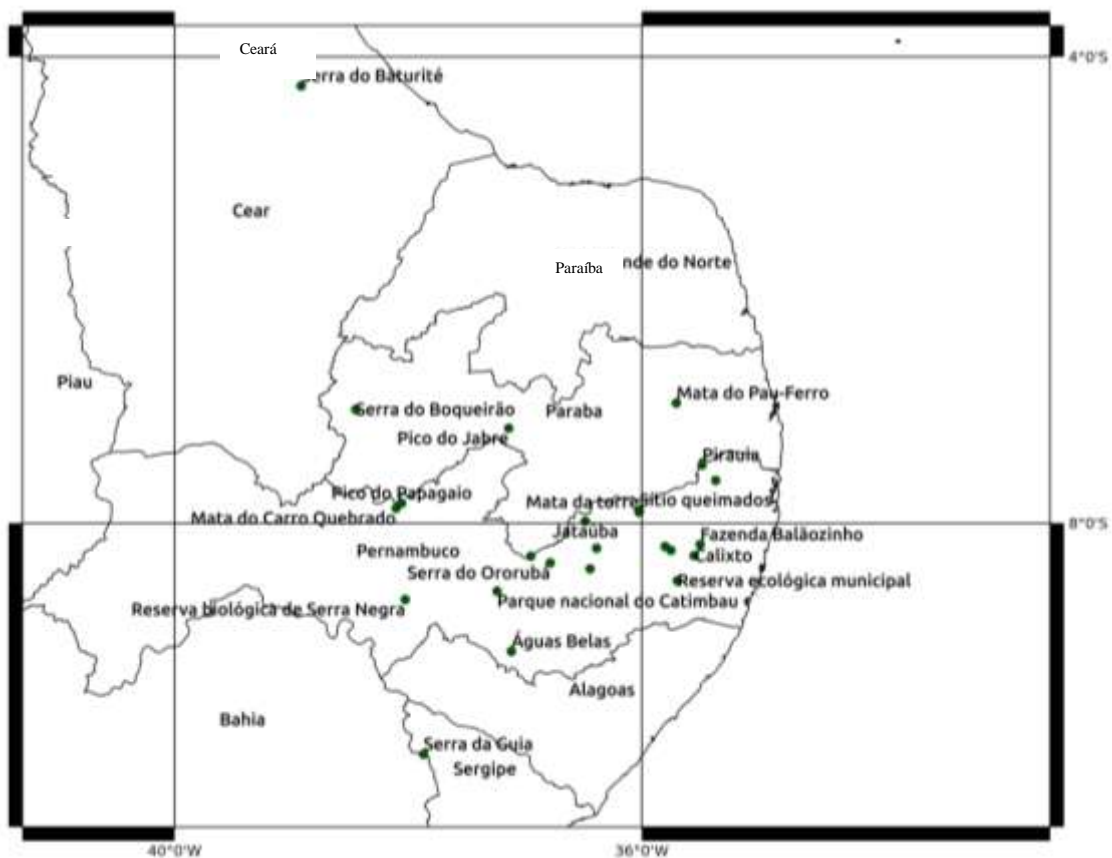
No total são disponíveis 19 modelos climáticos futuros, fundamentados no CMIP5 (*Climate Model Intercomparison Project* – Projeto de comparação de modelos climáticos) (*Global Climate Models* – Modelos Climáticos Globais - GCMs, Tabela 4), dos quais três foram escolhidos: CCSM4 (DANABASOGLU et al., 2012), MIROC-ESM (WATANABE et al., 2011) e MPI-ESM-LR (GIORGETTA et al., 2013) para as modelagens futuras. A escolha se deu devido à participação de pesquisadores brasileiros na elaboração de tais modelos, o que teoricamente seriam mais adequados para a realidade brasileira. As modelagens para o tempo atual possuem apenas um modelo único, fundamentado em dados de plataformas meteorológicas de coleta (HIJMANS et al., 2005). Das variáveis bioclimáticas disponíveis foram utilizados os dados futuros em RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathways* – Vias de concentrações representativas), sendo o pior cenário para mudanças climáticas, que implica nas alterações de temperatura caso as concentrações de gases estufa na atmosfera continuem com as projeções crescentes para os próximos anos (CMIP5). Este é o pior cenário de mudanças climáticas esperado. Os dados climáticos foram descarregados em camadas raster, no formato GEOTiff e com uma resolução de 5 minutos. Os rasters globais foram cortados com a ajuda do programa Q-GIS, sendo incisadas entre as latitudes 4-11 e longitudes entre 34-39 W. Esse procedimento elimina tempo computacional e vieses

geográficos das projeções nos modelos de distribuição, diminui os erros de ocorrência/sobreposição e reduz a influência dessas áreas no cálculo do AUC.

Os algoritmos utilizados foram um do tipo envelope (BIOCLIM; NIX, 1986) e um do tipo *machine learning* (MAXENT; PHILLIPS et al., 2004). Estes são os mais utilizados e permitem uma abordagem diferenciada sob os dados de distribuição e suas relações com o ambiente. A criação dos modelos de distribuição (SDMs) foi realizada com a ajuda do pacote DISMO (HIJMANS, 2005), disponível para o *freeware* R.

Com base nos dados obtidos foram realizadas dois tipos de análises: uma considerando a influência da temperatura e da disponibilidade de água (análise 1) e a outra apenas a disponibilidade de água em relação à distribuição dos brejos de altitude (análise 2).

Figura 3 - Pontos de brejos de altitude no Nordeste Brasileiro considerados para as análises. Escala 1:1.000.000.



Fonte: o autor.

Para testar a influência do aumento da temperatura e da disponibilidade de água (análise 1) foram utilizadas as variáveis bioclimáticas Bio1 – Temperatura Anual, Bio2 - Temperatura máxima nos meses mais quentes, Bio3 – Temperatura mínima nos meses mais frios, Bio12 – Precipitação Anual, Bio13 – Precipitação nos meses úmidos e Bio14 – precipitação no mês mais seco. Porém, para testar apenas a disponibilidade de água em relação à distribuição dos brejos de altitude (análise 2) foram utilizadas variáveis bioclimáticas Bio12, Bio13 e Bio14. Para ambas as análises essas variáveis foram escolhidas em detrimento das outras por que os demais dados de precipitação ou temperatura são derivados dessas camadas, como sugerido por Collevatti et al. (2013).

A metodologia utilizada para a junção dos modelos em ambas as análises, envolveu inicialmente a criação de um modelo BIOCLIM e um modelo MAXENT para cada um dos três GCMs (CCSM4, MIROC-ESM e MPI-ESM-LR), sendo posteriormente gerada uma média (*k-fold*) para cada um GCMs. Os modelos medianos foram agrupados, gerando um modelo geral que foi penalizado a partir dos valores de AUC (*Area under curve* - Área sob a curva) (JIMÉNEZ-VALVERDE, 2012). Foram gerados três modelos para cada uma das análises, considerando os seguintes períodos de tempo: (1) um modelo atual pós-revolução industrial; (2) um modelo para o ano de 2050 e (3) um modelo para o ano de 2070. A Figura 4 ilustra a metodologia utilizada.

Para evitar vieses nos dados, os modelos foram averiguados e comparados manualmente, permitindo que quaisquer desvios de um modelo geral sejam reportados nos resultados apresentados. Para uma verificação completa e comparativa dos modelos gerados para cada período pode ser consultado o apêndice I.

Ao final, foram realizadas inferências quanto à conservação considerando as quatro unidades de conservação existentes nos brejos de altitude, apresentadas na tabela 4.

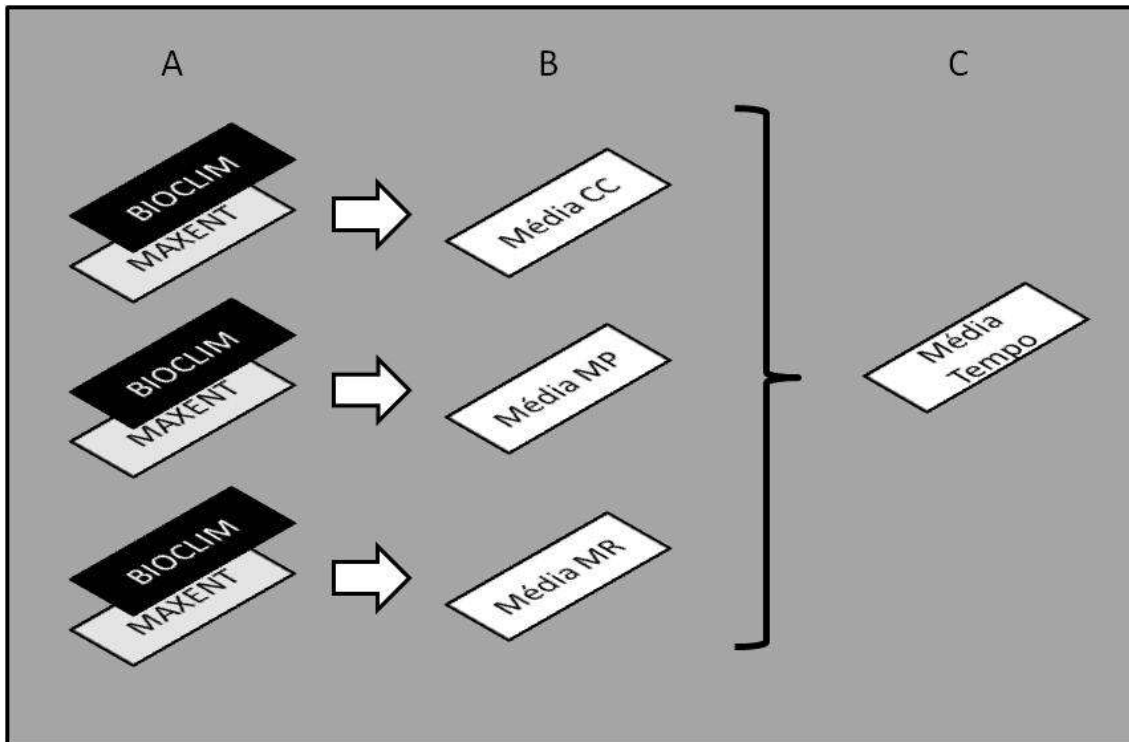
4.3 Avaliação estatística e construção dos mapas

Para a avaliação estatística de cada um dos modelos foi observada a curva ROC (Alvo de Característica Operacional) com valores de AUC. A estatística prevê

um ponto de corte em 0,5, abaixo deste mínimo qualquer conclusão seria relacionada ao acaso, deste modo, apenas modelos com valores de AUC maiores que 0,5 foram considerados (PETERSON et al., 2008; JIMÉNES-VALVERDE, 2012). Cada ponto no mapa representa, em termos gerais, uma probabilidade da fitofisionomia na área geográfica de ocorrência dos brejos de altitude. As probabilidades foram comparadas graficamente em uma escala de zero a um, onde zero representa baixa probabilidade e um probabilidade máxima. Foi avaliado um status de probabilidade de ocorrência para cada uma das quatro unidades de conservação presentes em brejos de altitude.

Os mapas foram editados a partir das camadas geradas em programas especializados. Para a confecção dos mapas finais foi realizada a coloração em falsa-cor, dividido em 20 categorias.

Figura 4 - Resumo gráfico da metodologia aplicada para dados futuros. Inicialmente foram gerados para cada um dos GCMs um modelo BIOCLIM e um modelo MAXENT (A). Para cada um dos GCMs foi gerado um modelo consenso (B). Os modelos consenso dos GCMs foram mesclados em um modelo médio penalizado pelos valores de AUC, gerando o modelo para aquele determinado período de tempo (C). Foram gerados modelos para o tempo atual, 2050 e 2070 para temperatura mais pluviosidade e apenas para pluviosidade. Para os nomes dos GCMs consultar Tabela 4.



5 RESULTADOS

5.1 Avaliação geral dos modelos

Os modelos incluindo temperatura e precipitação apresentaram valores de AUC superiores a 0,5, sendo de 0,8392 a média para o tempo atual, de 0,7251 para o modelo 2050 e de 0,6382 para o modelo 2070. Os modelos considerando apenas precipitação apresentaram valores de AUC acima de 0,5, com médias de 0,8631 para o tempo atual, de 0,6773 para o modelo 2050 e de 0,7510 para o modelo 2070. Nenhum mapa apresentou probabilidades maiores que 0,7. Os valores de AUC para cada um dos modelos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de AUC para Temperatura e precipitação ou apenas precipitação. Os valores estão organizados segundo os modelos gerados para os períodos do Tempo Atual, 2050 e 2070 sob os algoritmos BIOCLIM e MAXENT.

	Tempo Atual		2050			2070			
	Algoritmo	AUC	Algoritmo	Modelo climático	AUC	Algoritmo	Modelo climático	AUC	
Temperatura e precipitação	BICLIM	0,764	BIOCLIM	CCSM4	0,648	BIOCLIM	CCSM4	0,729	
	MAXENT	0,862		MPI-ESM-LR	0,608		MPI-ESM-LR	0,601	
				MIROC-ESM	0,726		MIROC-ESM	0,608	
				MAXENT	CCSM4	0,834	MAXENT	CCSM4	0,802
				MPI-ESM-LR	0,840	MPI-ESM-LR	0,812		
				MIROC-ESM	0,633	MIROC-ESM	0,546		
	Tempo Atual		2050			2070			
	Algoritmo	AUC	Algoritmo	Modelo climático	AUC	Algoritmo	Modelo climático	AUC	
Precipitação	BICLIM	0,718	BIOCLIM	CCSM4	0,726	BIOCLIM	CCSM4	0,836	
	MAXENT	0,667		MPI-ESM-LR	0,747		MPI-ESM-LR	0,824	
				MIROC-ESM	0,715		MIROC-ESM	0,743	
				MAXENT	CCSM4	0,633	MAXENT	CCSM4	0,677*
				MPI-ESM-LR	0,603	MPI-ESM-LR	0,594		
				MIROC-ESM	0,621	MIROC-ESM	0,713		

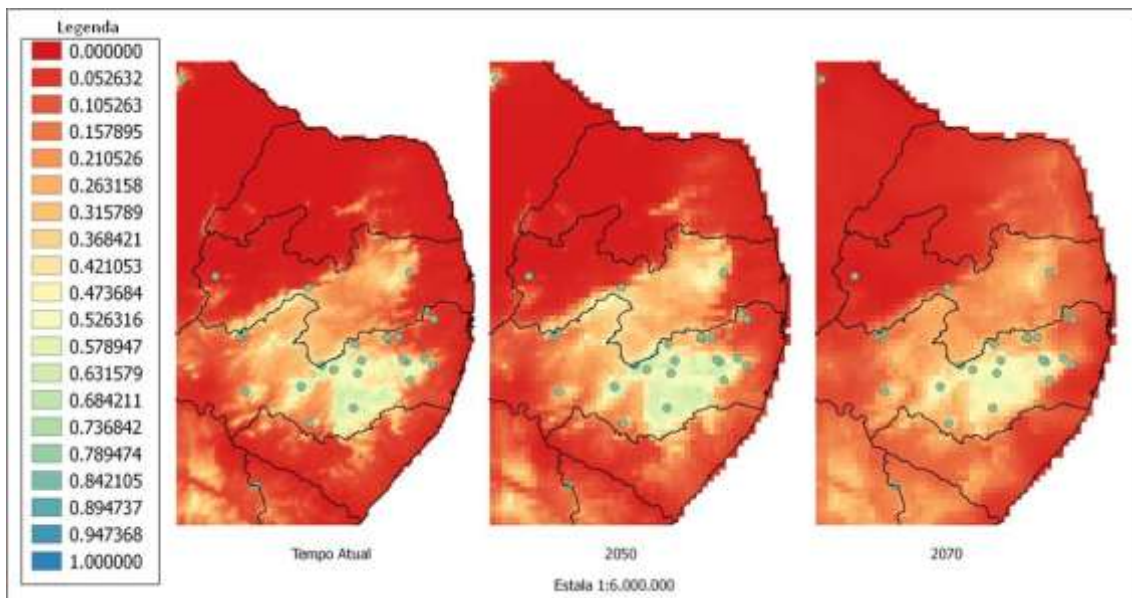
* Modelo desconsiderados para a média geral

5.1 Temperatura e precipitação

Os mapas ilustrativos para temperatura e precipitação são apresentados na Figura 4. Dados atuais apontam para maiores níveis de ambiente viável para a ocorrência da fitofisionomia de brejos de altitude para a região do Planalto da Borborema no Estado de Pernambuco, especialmente no que diz respeito à porção

mais ao sul, na divisa com o Estado de Alagoas. A região com ocorrência dos brejos na Paraíba apresenta áreas com menor disponibilidade de ambientes com temperatura e pluviosidade compatíveis. Os brejos do Baturité (CE), Pico do Jabre (PB) e Serra da Guia (SE) apresentam menores valores de probabilidade de ocorrência que as localidades no Planalto da Borborema.

Figura 5 - Mapas ilustrativos dos modelos climáticos futuros para a fitofisionomia dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro. Os pontos representam os brejos de altitude amostrados. Para referências de localidades, consultar Figura2. Os brejos de altitude do sul do Planalto da Borborema tenderão a ter menos alterações nos níveis de temperatura e pluviosidade, ao passo que regiões mais ao norte sofrerão maiores alterações.



Fonte: O autor

Os dados climatológicos utilizados para as previsões para 2050 e 2070 correspondem a um continuum nas emissões e acúmulo de carbono na atmosfera para o século XXI, ou seja, preveem constantes emissões e acúmulo de carbono na atmosfera no decorrer do século. As condições sugeridas pelo modelo de temperatura e precipitação 2050 indicam maior instabilidade para a manutenção das floras na parte do Planalto da Borborema em sua porção paraibana. Em curto prazo as condições de manutenção dessa flora na porção sul do planalto tenderão a aumentar, reduzindo mais uma vez no final do século. Em contrapartida as regiões mais a sul em Pernambuco até próximo à divisa com Alagoas terão melhores condições de manter a fitofisionomia do que o momento atual e tenderão a manter

suas condições climáticas pelo século. Por volta de 2070, apenas esta porção do Planalto da Borborema entre Pernambuco e Alagoas tenderá a manter as condições necessárias para a manutenção da flora de brejos. É marcante no mapa (Figura 5) que as condições para a manutenção da flora na Serra do Baturité – CE e Pico do Jabre - PB cessarão após a metade do século. A Reserva Biológica de Serra Negra, localizada no interior de Pernambuco, apresenta menores probabilidades de manutenção de sua flora do que o Planalto da Borborema.

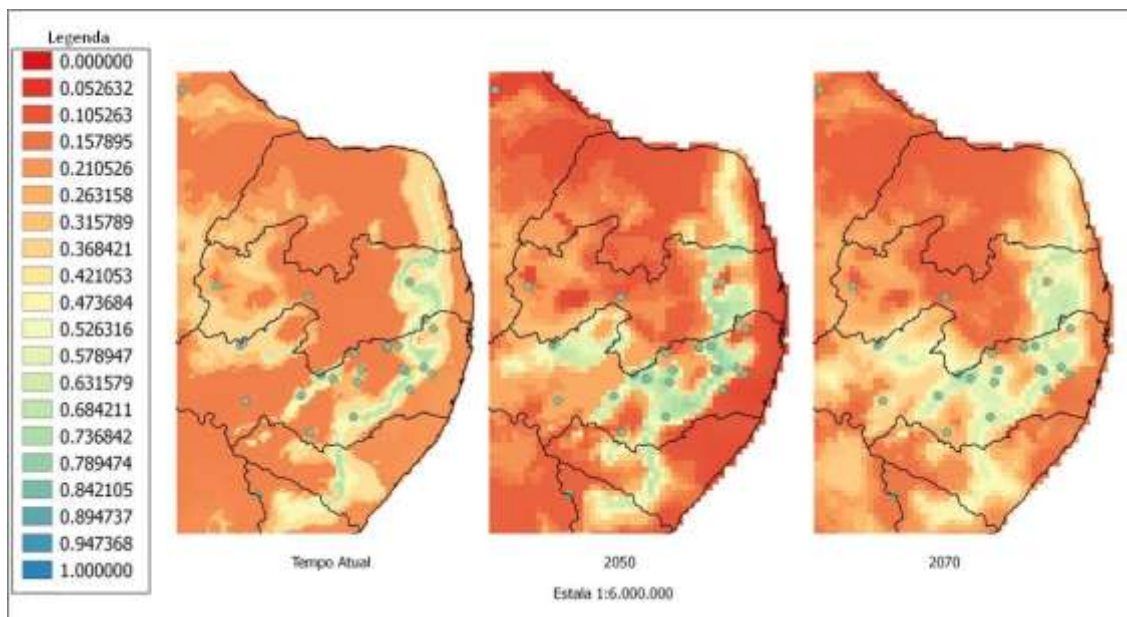
Os valores absolutos dos mapas de probabilidade de ocorrência dos brejos de altitudes nas áreas de ocorrência da fitofisionomia foram considerados baixos (máximo 0,7), numa escala de 0 a 1. Em média apresentaram valores máximos de probabilidade por volta de 0,6, em localidades do Planalto da Borborema Sul.

5.2 Precipitação

Os modelos da fitofisionomia considerando apenas a precipitação são apresentados na Figura 6. Para a atualidade, o modelo que ilustra a relação precipitação vs. presença da fitofisionomia, aponta para um corredor de precipitação ideal para a manutenção das floras em paralelo à costa. Pontos de maiores longitude tendem a apresentar menores condições de probabilidade de manutenção desses ambientes.

O modelo de distribuição para 2050 aponta para probabilidades de ocorrência da flora de brejos com padrões semelhantes ao esperado no tempo atual, apresentando diferenças para áreas mais interioranas do planalto da Borborema e da Serra de Teixeira e o brejo da Serra da Guia em Sergipe, as quais apresentam menor probabilidade de se manterem em 2050 e tenderão a sofrer maiores alterações devido à indisponibilidade de água. O cenário em 2070 apresenta características semelhantes ao modelo de 2050, com a manutenção de áreas a sotavento do Planalto da Borborema e regiões adjacentes, como o brejo do Vale do Catimbau e melhores condições na REBIO de Serra Negra. No brejo da Serra do Baturité-CE, as condições de precipitação tenderão a variar no decorrer dos anos com uma pluviosidade menor que no futuro.

Figura 6 - Mapas ilustrativos dos modelos climáticos futuros para a fitofisionomia dos brejos de altitude no Nordeste brasileiro, considerando apenas a precipitação. Os pontos representam os brejos de altitude amostrados. Para referências de localidades, consultar Figura 2. Os brejos do planalto da Borborema apresentam maiores condições de se manterem devido à precipitação. Regiões de brejos na Paraíba e em Sergipe tenderão a ter condições de pluviosidade menos favorável para sua manutenção no futuro.



6 DISCUSSÃO

6.1 Modelos de distribuição, mudanças climáticas e a manutenção dos brejos de altitude

Os modelos apresentados foram eficientes em ilustrar as influências das mudanças climáticas apenas para os brejos de altitude, uma vez que todos os modelos apresentaram maiores probabilidades em regiões de ocorrência dos brejos, excluindo zonas de floresta atlântica costeira do Nordeste. As análises conjuntas de temperatura e precipitação, associadas a uma análise considerando apenas a precipitação revelaram cenários diferentes para todos os períodos amostrados.

A manutenção das floras de brejos de altitude tenderá a ser mais penalizada pelo conjunto temperatura e precipitação do que apenas pelas alterações na precipitação. Apesar disso, pela biologia das espécies desse ambiente, sabe-se que os Brejos de altitude são mais dependentes da disponibilidade de água, uma vez que se atribui a presença de uma floresta tropical úmida em meio a uma matriz de caatinga (floresta tropical seca), decorrente das chuvas orográficas (BRAGA et al., 2002). As floras em um relevo montanhoso são favorecidas por um diferencial de pluviosidade ocasionada pelas chuvas orográficas (GOMES; ALVES, 2010), uma vez que a o relevo escarpado permite a ascensão de correntes de ar verticais rica em umidade (MELO-JUNIOR et al., 2006; PANZIERA; GERMANN, 2010).

As influências da temperatura no ambiente não devem ser descartadas, refletindo tanto na fisionomia da vegetação como um todo quanto em relação às respostas das espécies. Este fator quando relacionado às condições climáticas exerce influência nas características ecofisiológicas de espécies presentes nos brejos, como o pau-ferro (*Cesalpinia ferrea* Mart ex. Tul) (LIMA et al., 2006), que tem redução nas taxas de germinação de sementes causadas pela temperatura. A temperatura em associação com alta insolação também tende a causar danos irreversíveis fisiológicos em plantas, como danos no aparelho fotossintético observados em Bromeliaceae (CHAVES et al., 2017).

Estima-se que o aumento na temperatura global levará a um acréscimo nos níveis de evaporação, maior secura nos solos e uma ampliação na capacidade de retenção de água na atmosfera da ordem de 7% a cada 1° C (TRENBERTH, 2011). A redução nos valores de probabilidades de manutenção das floras dos brejos para

os anos de 2050 e 2070 apontam para áreas com temperatura e precipitações menos propícias à manutenção da fitofisionomia. Brejos de altitude localizados na porção sul do Planalto da Borborema apresentam melhores condições de se manterem no futuro. Nessa porção da Borborema se encontram duas Unidades de Conservação, a RPPN Fazenda do Bituri e o Parque Municipal Vasconcelos Sobrinho. Destaca-se que ambos os brejos estão mais próximos à costa, se comparado com aqueles que estão em longitudes mais a oeste do Estado de Pernambuco, e portanto, sofrem maior influência da umidade proveniente dos alísios que penetra no interior do Estado (FERRAZ et al., 2006).

Brejos relacionados ao Planalto da Borborema apresentam maiores condições de se manterem até o final do século XXI. Apesar dos modelos terem apontado as probabilidades de manutenção dessa fitofisionomia nos ambientes de brejos de altitude, não foi considerada a capacidade intrínseca de cada uma das espécies para a sua manutenção nesses ambientes. A fitofisionomia de brejos de altitude *per se*, não forma comunidades de espécies similares em toda sua área de ocorrência, sendo identificados tanto elementos de Caatinga mesclados com os dos brejos à barlavento do Planalto da Borborema, quanto com elementos de floresta tropical atlântica nos situados à sotavento (SANTOS et al., 2007; RODAL et al., 2008). Desta forma, não há uma uniformidade de respostas das espécies e no conjunto das fitofisionomias, mesmo em um cenário de condições climáticas semelhantes.

6.2 Unidades de conservação e mudanças climáticas

Quatro é o número de unidades de conservação protegidas por legislação no domínio dos brejos de altitude, uma reserva biológica federal (REBIO Serra Negra), uma reserva ecológica estadual (Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro), um parque municipal (Parque Municipal João de Vasconcelos Sobrinho) e uma reserva particular do patrimônio natural (RPPN Fazenda do Bituri). Três dessas são localizadas no estado de Pernambuco, ao passo que apenas uma na Paraíba. De uma forma geral, as probabilidades de manutenção das floras nesses ambientes para o fim do século são menores do que o momento atual (Figuras 4 e 5).

6.2.1 Reserva Biológica de Serra Negra

A Reserva Biológica de Serra Negra corresponde a um remanescente de floresta encravado no Sertão do São Francisco, à oeste do Planalto da Borborema. As condições pluviométricas para esse ambiente são muito mais secas do que o esperado para o Planalto da Borborema. Na região do sertão pernambucano, a pluviosidade é menor que 500 mm, sendo na região do Planalto da Borborema (Agreste) a máxima de 600 mm anuais (ICMBIO, 2011). Os modelos de probabilidades observados com a comparação do tempo atual e anos de 2050 e 2070 indicam redução da probabilidade desse ecossistema (Figuras 5 e 6). As mudanças climáticas poderão reduzir a diversidade de espécies localmente por eliminar aquelas menos adaptadas às condições mais quentes de Caatinga. Muitas das espécies, especialmente do estrato arbóreo/arbustivo, ocorrentes em regiões de floresta dentro dessa reserva (ver: RODAL; NASCIMENTO, 2002), estão mais suscetíveis às variações climáticas. A Reserva Biológica de Serra Negra apresenta ainda diversos outros problemas ambientais e de gestão que tendem a aumentar os efeitos de extinção local, como litígio por demarcação de terras indígenas, criação de carneiros e falta de fiscalização (ICMBIO, 2011). Este cenário pode ser mais grave ao considerarmos que a vegetação da REBIO Serra Negra ao longo dos anos sofreu impactos significativos de retirada de madeira (dados não publicados), mesmo de forma seletiva. Este fato contribui para redução do tamanho populacional das espécies alvos da pressão, para perda de habitat e provável substituição por uma flora de caatinga. Outro aspecto a ser avaliado é o isolamento reprodutivo que muitas das suas espécies características se mantêm devido à falta de conectividade na paisagem entre as áreas de brejos, notadamente os mais interioranos, como o de Serra Negra.

6.2.2 Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro

A Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro localiza-se na região do Brejo na Paraíba, a uma altitude de cerca de 600m, na porção norte do Planalto da Borborema (BARBOSA et al., 2004). As predições para essa Unidade de Conservação estadual é uma das piores, uma vez que as probabilidades de manutenção da fitofisionomia sob mudanças nas condições de temperatura e precipitação apontam para reduções drásticas em seu valor nominal, em especial nas áreas que circundam o brejo de Areia (Figura 4). Adicionado ao fato de que esse

brejo sofre várias influências antrópicas como a presença de casas; descarte de lixo inorgânico; atividades de desmatamento, coleta de material para lenha, captura de animais silvestres e áreas de cultivo e pastagem (SILVA et al., 2006). Esse brejo de altitude, porém, tenderá a manter sua probabilidade de ocorrência se considerado apenas os níveis de precipitação para o futuro (Figura 5).

6.2.3 Parque Ecológico João de Vasconcelos Sobrinho

O Parque Ecológico João de Vasconcelos Sobrinho abriga uma grande diversidade de espécies vegetais e animais, além de ser uma área prioritária para conservação de nascente e de mananciais (BRAGA et al., 2002). Esta reserva está localizada no município de Caruaru-PE, em uma posição central no Planalto da Borborema (Figura 1) e apresenta as melhores condições de probabilidade para sua manutenção em todos os cenários. Este fragmento de floresta se faz, assim, um forte candidato a se manter como um futuro refúgio para espécies da flora dos brejos de altitude sob condições climáticas futuras. Entretanto, como em toda floresta tropical montana, este Parque sofre pressões antrópicas, como as práticas de agricultura e pecuária, gerando impactos ambientais sob a flora local (BRAGA et al., 2002).

6.2.4 Reserva do Patrimônio Natural da Fazenda do Bitury

A Fazenda do Bitury está localizada no município de Brejo da Madre de Deus – PE é a única com proteção na esfera particular, destacando-se como um dos pontos mais altos do estado de Pernambuco. Apresenta uma diversidade de espécies semelhantes à floresta atlântica costeira e elevada similaridade com outros brejos de altitude mais continentais (NASCIMENTO et al., 2012). Pouco se conhece sobre o *status* de conservação desse aglomerado florestal, o que dificulta apontar possíveis fontes antrópicas que possam influenciar a cobertura vegetal da região. Do ponto de vista de mudanças nas condições de temperatura e precipitação, esse ambiente também apresenta pouca variação das condições necessárias para a manutenção dos brejos, desde agora até as proximidades do fim do século (Figura 4). Entretanto, é importante observar que trata-se de uma área bastante reduzida, com apenas 40ha, apresentando entre os brejos de Pernambuco uma das menores áreas de floresta, com exceção dos Brejos de Taquaritinga do Norte e Serra Negra

de Bezerras que ainda são menores, com 30ha e 10ha, respectivamente (DE SALES et al., 1998).

6.3 Áreas prioritárias para conservação

As Unidades de Conservação aqui apresentadas são os principais aglomerados florestais que merecem ser considerados para conservação, uma vez que se conhece a sua importância biológica, ecológica e econômica. Do ponto de vista de mudanças climáticas, os brejos localizados no Planalto da Borborema, em especial na sua porção sul-pernambucana merecem atenção redobrada. Esta região apresenta as maiores probabilidades para essa fitofisionomia, além de agregar as condições necessárias para ocorrência das chuvas orográficas e também por apresentarem temperaturas mais baixas em comparação com as áreas circundantes de caatinga, decorrentes do efeito positivo da altitude.

7 CONCLUSÕES

- As predições apresentadas pelos modelos bioclimáticos sugerem que as regiões dos brejos de altitude tenderão a ter uma redução da sua probabilidade de ocorrência, e, portanto, redução na sua distribuição, exceto para a região sul do Planalto da Borborema. Esta região, portanto, é de interesse para a conservação, por serem potenciais refúgios para esse tipo de ambiente.
- A temperatura associada à precipitação apresenta-se como um fator mais influente para a distribuição dos brejos de altitude do que a precipitação apenas.
- Dentre as Unidades de Conservação mais suscetíveis as mudanças climáticas, por apresentar menor condição de manutenção de sua distribuição no futuro, destaca-se a Reserva Biológica de Serra Negra, especialmente por sua localização em uma área mais quente e seca do bioma caatinga em comparação com as outras UCs avaliadas.
- Apesar das predições apontarem para uma redução da área de distribuição dos brejos e, assim, para uma atenção a conservação de suas fisionomias, tais resultados representam uma abordagem que exclui os fatores de resiliência intrínsecos a cada espécie. E, portanto, os efeitos do aquecimento global devem afetar de forma diferenciada cada espécie.
- Associados aos modelos climáticos aqui gerados, que fornecem um primeiro diagnóstico dos possíveis problemas a serem enfrentados pelos efeitos do aquecimento global, estratégias de preservação *in loco* devem ser levadas em consideração, como a definição de unidades de conservação e manejo adequado.
- A porção sul do Planalto da Borborema provavelmente funcionará como um refúgio para o domínio dos brejos de altitude, se mantidas boas condições de conservação.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. A. et al., Análise florística e estrutural de matas ciliares ocorrentes em brejo de altitude no município de Areia, Paraíba. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 1, n. 1, p. 31-40, 2006.
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da academia Pernambucana de ciência agrônômica**, v. 4, p. 243-274, 2014.
- ANDRADE-LIMA, D. Present-day forest refuges in northeastern Brazil. *In* PRANCE, G. T. Biological diversification in the tropics, 1982, 714p.
- ARAÚJO, M. B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in ecology; evolution**, v. 22, n. 1, p. 42-47, 2007.
- ARNELL, N. W.; GOSLING, S. N. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 351-364, 2013.
- ASSAD, E. D. et al., Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- BÁLINT, M. et al., Cryptic biodiversity loss linked to global climate change. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 6, p. 313-318, 2011.
- BARBOSA, M. R. V. et al., Diversidade Florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. *In*: PÔRTO et al., Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- BELLARD, C. et al., Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.
- BERNSTEIN, L. et al., IPCC, 2007: climate change 2007: **Synthesis report**. IPCC, 2008.
- BRAGA, R. A. P. et al., Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude- O caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 539-546, 2002.
- BRASIL. Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima **Diário Oficial da União** Seção 1 ano 147, edição extra, p 1-12, 29 dez 2009.
- BRASIL. Lei No 9.985, de 18 de julho de 2000. institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Diário Oficial da União**. Seção 1, ano 138, 19 jul 2000.
- CARNAVAL, A. C.; MORITZ, C. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Biogeography**, v. 35, n. 7, p. 1187-1201, 2008.
- CAVALCANTE, A. de; SOARES, J. J.; FIGUEIREDO, M. A. Comparative phytosociology of tree sinusiae between contiguous forests in different stages of succession. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, p. 551-562, 2000.
- CHAVES, C. J. N.; LEAL, B. S. S.; DE LEMOS-FILHO, J. P. How are endemic and widely distributed bromeliads responding to warming temperatures? A case study in a Brazilian hotspot. **Flora**, online-first, 2017.

- COLLEVATTI, R. G. et al., Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 2, p. 345-358, 2013.
- DA SILVA, J. M. C.; CASTELETI, C. H. M. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. CABS and Island Press, Washington, p. 43-59, 2003.
- DANABASOGLU, G. et al., The CCSM4 ocean component. **Journal of Climate**, v. 25, n. 5, p. 1361-1389, 2012.
- DE SALES, M. F.; MAYO, S. J.; RODAL, M. J. N. **Plantas vasculares das florestas serranas de Pernambuco: um checklist da flora ameaçada dos brejos de altitude, Pernambuco, Brasil**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1998.
- DÖLL, P.; ZHANG, J. Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 5, p. 783-799, 2010.
- ELITH, J. et al., A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and distributions**, v. 17, n. 1, p. 43-57, 2011.
- ELTON, C. *Animal Ecology*, 1927. Sidgwick; Jackson, LTD, London, 1927.
- FABRICANTE, J. R. et al., Invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) em um fragmento de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil: impactos sobre a fitodiversidade e os solos dos sítios invadidos. **Acta Botanica Brasílica**, v. 26, n. 2, p. 399-407, 2012.
- FERRAZ, E. M. N. et al., Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, p. 7-15, 1998.
- FERRAZ, E. M. N.; LIMA-ARAÚJO, E.; DA SILVA, S. I. Floristic similarities between lowland and montane areas of Atlantic Coastal Forest in Northeastern Brazil. **Plant Ecology**, v. 174, n. 1, p. 59-70, 2004.
- FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N. Caracterização fisionômica-estrutural de um remanescente de floresta ombrófila montana de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 20, n. 4, p. 911-926, 2006.
- FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. Physiognomy and structure of vegetation along an altitudinal gradient in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Phytocoenologia**, v. 33, n. 1, p. 71-92, 2003.
- FLEMONS, P. et al., A web-based GIS tool for exploring the world's biodiversity: The Global Biodiversity Information Facility Mapping and Analysis Portal Application (GBIF-MAPA). **Ecological Informatics**, v. 2, n. 1, p. 49-60, 2007.
- GIORGETTA, M. A. et al., Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 5, n. 3, p. 572-597, 2013.
- GOMES, P.; ALVES, M. Floristic diversity of two crystalline rocky outcrops in the Brazilian northeast semi-arid region. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 4, p. 661-676, 2010.

- GOSLING, S. N.; ARNELL, N. W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. **Climatic Change**, v. 134, n. 3, p. 371-385, 2016.
- GRINNELL, J. The niche-relationships of the California Thrasher. **The Auk**, v. 34, n. 4, p. 427-433, 1917.
- GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology letters**, v. 8, n. 9, p. 993-1009, 2005.
- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological modelling**, v. 135, n. 2, p. 147-186, 2000.
- HIJMANS, R. J. et al., R package DISMO: species distribution modeling, version 1.0-12. 2015.
- HIJMANS, R. J. et al., Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005.
- HOLT, R. D. On the evolutionary ecology of species' ranges. **Evolutionary ecology research**, v. 5, n. 2, p. 159-178, 2003.
- ICMBIO. Plano de Manejo da REBIO de Serra Negra. **Publicação Técnica**, 308 p, 2011.
- JIMÉNEZ-VALVERDE, A. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 4, p. 498-507, 2012.
- KEARNEY, M. et al., Integrating biophysical models and evolutionary theory to predict climatic impacts on species' ranges: the dengue mosquito *Aedes aegypti* in Australia. **Functional Ecology**, v. 23, n. 3, p. 528-538, 2009.
- LEAL, I. R. et al., Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.
- LIMA, J. D. et al., Effect of temperature and substrate on seed germination of *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul.(Leguminosae, Caesalpinoideae). *Revista Árvore*, v. 30, n. 4, p. 513-518, 2006.
- LIMA, N. E. et al., Phylogeography and ecological niche modelling, coupled with the fossil pollen record, unravel the demographic history of a Neotropical swamp palm through the Quaternary. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 4, p. 673-686, 2014.
- LÔBO, D. et al., Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 2, p. 287-296, 2011.
- LOURENÇO, C. E. L.; BARBOSA, M. R.V. FLORA DA FAZENDA IPUARANA, LAGOA SECA, PARAÍBA (GUIA DE CAMPO). **Revista Nordestina de Biologia**, v. 17, n. 1/2, p. 23, 2003.
- MACHADO, W.; PRATA, A.P.; MELLO, A. Floristic composition in areas of Caatinga and Brejo de Altitude in Sergipe state, Brazil. **Check List**, v. 8, p. 1089, 2012.
- MEEHL, G. A. et al., The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 88, n. 9, p. 1383-1394, 2007.
- MELO-JÚNIOR, J. C. F. et al., Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 417-425, 2006.

- NASCIMENTO, L. M.; RODAL, M. J. N.; SILVA, A. G. Florística de uma floresta estacional no Planalto da Borborema, nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 63, n. 2, 2012.
- NIX, H. A.; BUSBY, J. **BIOCLIM, a bioclimatic analysis and prediction system. Annual report** CSIRO. CSIRO Division of Water and Land Resources, Canberra, 1986.
- OTTO-BLIESNER, B. L. et al., Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation. **Science**, v. 311, n. 5768, p. 1751-1753, 2006.
- PANZIERA, L.; GERMANN, U. The relation between airflow and orographic precipitation on the southern side of the Alps as revealed by weather radar. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 136, n. 646, p. 222-238, 2010.
- PARÁIBA. Lei N. 9.336 de 31 de Janeiro de 2011.
- PENNINGTON, T. R.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 2, p. 261-273, 2000.
- PERNAMBUCO, Proposta para criação de Unidades de Conservação na Mata de Siriji, em São Vicente Ferrer –PE. **Relatório técnico**, 2014.
- PERNAMBUCO. Lei N. 14.090 de 17 de julho de 2010.
- PETERSON, A. T.; PAPEŞ, M.; SOBERÓN, J. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. **Ecological modelling**, v. 213, n. 1, p. 63-72, 2008.
- PETERSON, A. T.; VIEGLAIS, D. A. Predicting Species Invasions Using Ecological Niche Modeling: New Approaches from Bioinformatics Attack a Pressing Problem: A new approach to ecological niche modeling, based on new tools drawn from biodiversity informatics, is applied to the challenge of predicting potential species' invasions. **BioScience**, v. 51, n. 5, p. 363-371, 2001.
- PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning. ACM, 2004. p. 83.
- PÔRTO, Kátia C.; CABRAL, Jaime JP; TABARELLI, Marcelo. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. **História natural, ecologia e conservação. Ministério do Meio Ambiente e Universidade Federal do Pernambuco, Brasília**, 2004.
- POTTS, S. G. et al., Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology; Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.
- ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora of the Pico do Jabre, Paraíba, Brazil: Cactaceae Juss. **Acta botanica brasílica**, v. 16, n. 1, p. 15-21, 2002.
- RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; THOMAS, W. W. Do the seasonal forests in northeastern Brazil represent a single floristic unit?. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 3, p. 467-475, 2008.

- RODAL, M. J. N.; NASCIMENTO, L. M. Levantamento florístico da floresta serrana da Reserva Biológica de Serra Negra, microrregião de Itaparica, Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 4, p. 481-500, 2002.
- ROSADO, B. H. P. et al., Eltonian shortfall due to the Grinnellian view: functional ecology between the mismatch of niche concepts. **Ecography**, 2016.
- SALA, O. E. et al., Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.
- SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Integridade, esforço e diretrizes para a conservação dos brejos de altitude da Paraíba e Pernambuco. *In*: PÔRTO et al., **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- SANTOS, A. M. M. et al., Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 3, p. 437-446, 2007.
- SILVA, M. C. et al., Condições ambientais da reserva ecológica estadual da Mata do Pau Ferro, Areia-PB. **Geografia** (Londrina), v. 15, n. 1, p. 51-63, 2016.
- SIQUEIRA FILHO, J. A.; LEME, E. M. C. Fragmentos de Mata Atlântica do Nordeste: biodiversidade, conservação e suas bromélias. **Andrea Jakobsson Estúdio**, 2006.
- SOBERÓN, J; NAKAMURA, M. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. Supplement 2, p. 19644-19650, 2009.
- SPECIESLINK - <http://splink.cria.org.br/> acessado em 5 de abril de 2017.
- SWETS, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285, 1988.
- TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. *In*: PÔRTO et al., **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**, 2004.
- THUILLER, W. BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. **Global Change Biology**, v. 9, n. 10, p. 1353-1362, 2003.
- THUILLER, W. et al., BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369-373, 2009.
- TRENBERTH, Kevin E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, v. 47, n. 1-2, p. 123-138, 2011.
- UNCED, Cúpula da Terra. **Resumo da agenda 21**. Rio de Janeiro, Centro de Informação das Nações Unidas, 1992.
- VIEIRA, T. L.; BARROS, F.; ROQUE, N. Orchidaceae no município de Jacobina, estado da Bahia, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 3, p. 469-482, 2014.
- WALKER, B. H.; STEFFEN, W. L. **Global change and terrestrial ecosystems**. Cambridge University Press, 1996.
- WATANABE, S. et al., MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 845, 2011.

WERNECK, F. P. et al., Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 2, p. 272-288, 2011.

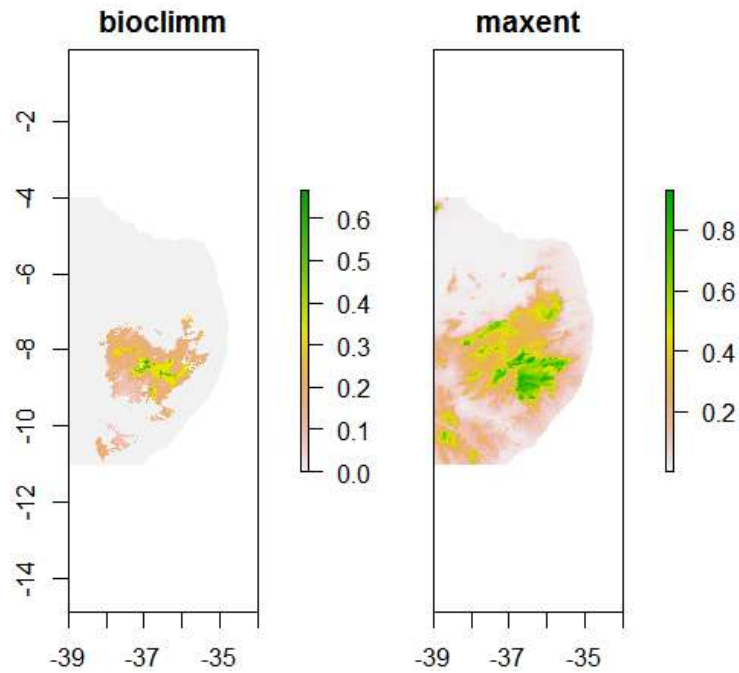
WORLDCLIMM - <http://www.worldclim.org/>, acessado em 29 de Março de 2017.

XAVIER, K. R. F. et al., Impactos pós-fogo na regeneração natural em um fragmento de floresta ombrófila aberta no município de Areia, Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 257, 2011.

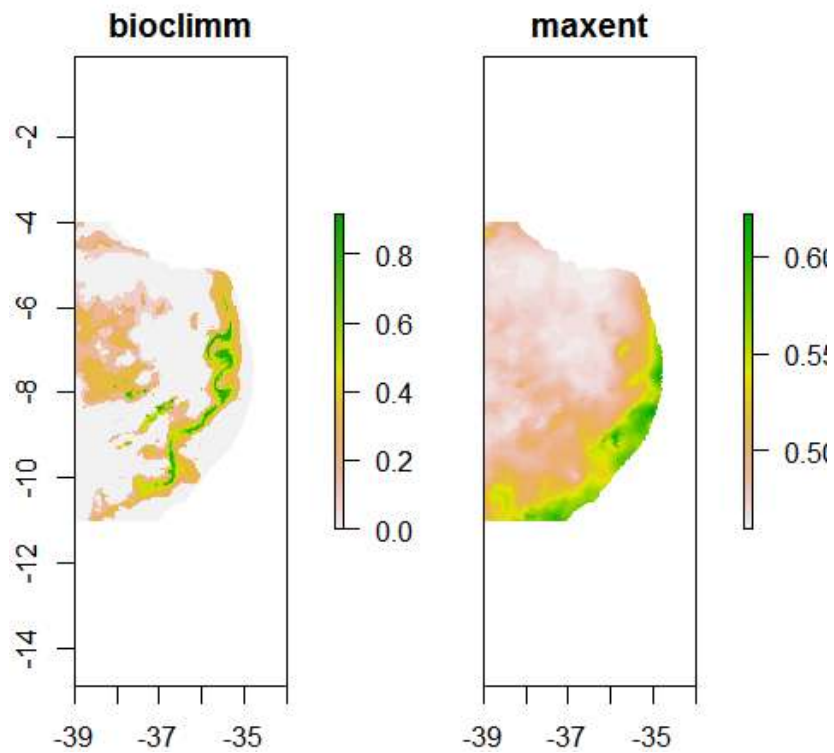
YANO, O. Briófitas da Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 8, n. 1, p. 45-57, 1994.

APÊNDICE A

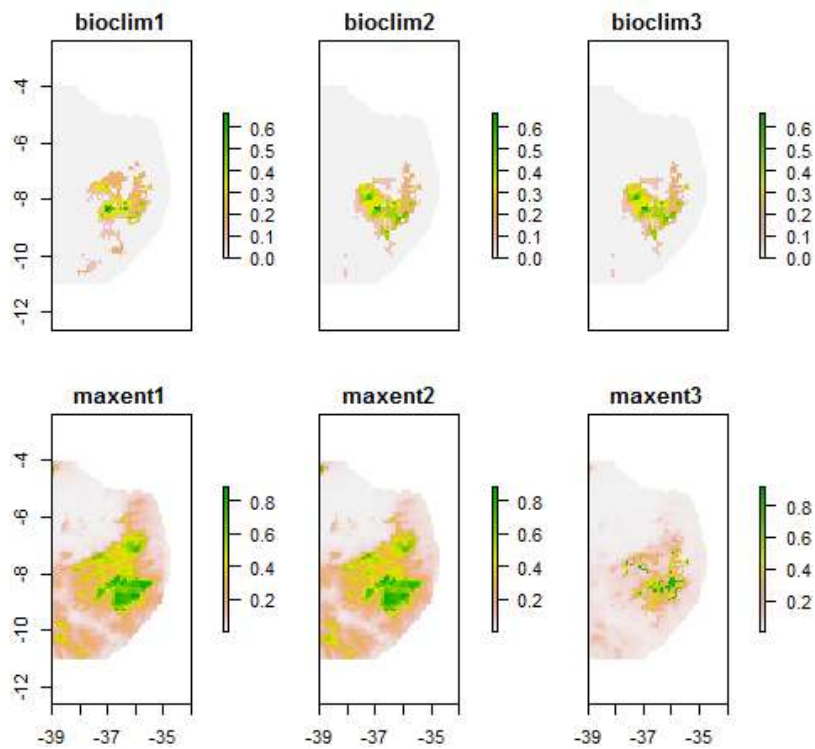
Os modelos aqui apresentados em gráficos ilustrativos são resultados intermediários do modelo geral apresentado no corpo desse documento.



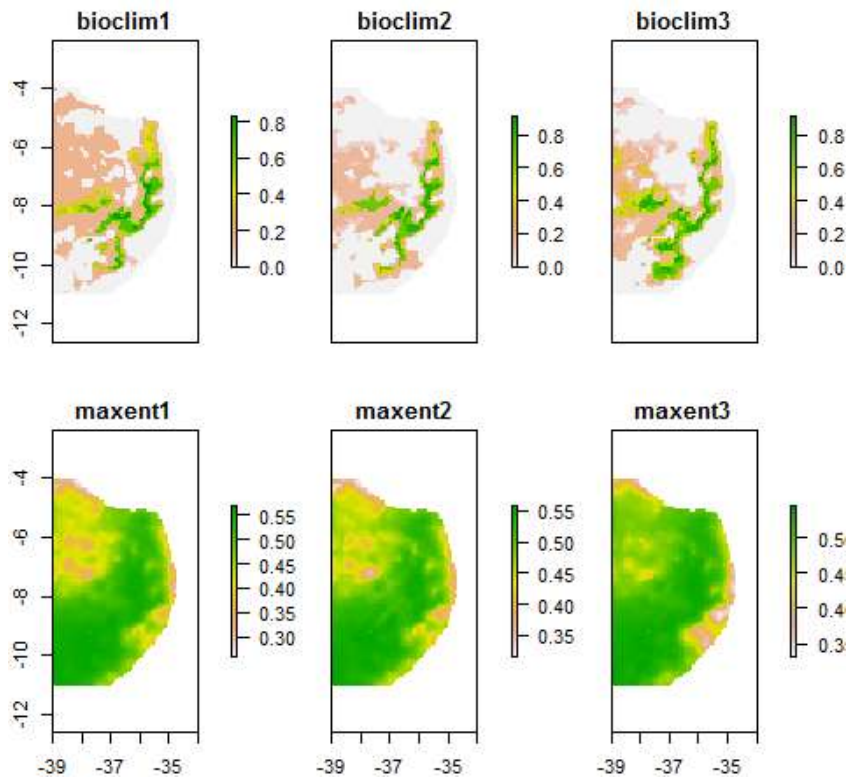
Modelos Bioclimm e Maxent para o período atual, considerando temperatura e precipitação (análise 1)



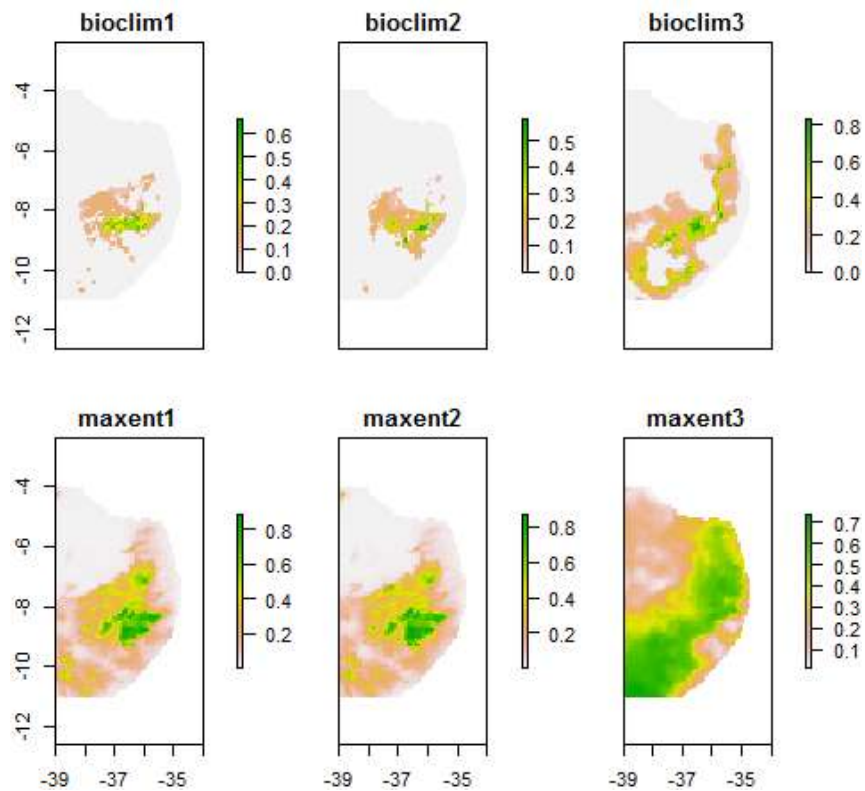
Modelo Bioclimm e Maxent para precipitação no período atual, considerando apenas precipitação



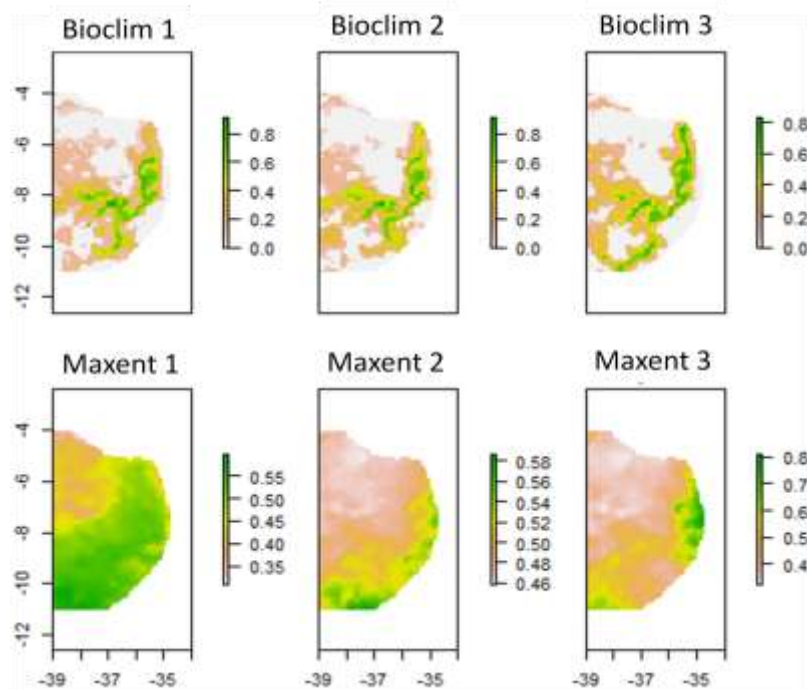
Modelos Bioclim e Maxent intermediários para o período de 2050 considerando precipitação e temperatura. Os modelos 1 são referentes ao modelo climático CC, os modelos 2 ao modelo climático MP e os modelos 3 referentes ao modelo climático MR.



Modelos Bioclim e Maxent intermediários para o período de 2050 considerando apenas precipitação. Os modelos 1 são referentes ao modelo climático CC, os modelos 2 ao modelo climático MP e os modelos 3 referentes ao modelo climático MR.



Modelos Bioclim e Maxent intermediários para o período de 2070 considerando precipitação e temperatura. Os modelos 1 são referentes ao modelo climático CC, os modelos 2 ao modelo climático MP e os modelos 3 referentes ao modelo climático MR.



Modelos Bioclim e Maxent intermediários para o período de 2070 considerando apenas precipitação. Os modelos 1 são referentes ao modelo climático CC, os modelos 2 ao modelo climático MP e os modelos 3 referentes ao modelo climático MR.