

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO AUMENTO DO NÍVEL
DO MAR SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE PLANTAS
COSTEIRAS**

TAMIRES DE LIMA MARQUES

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas (Ecologia).

Orientadora: Dra. Mariana Moncassim Vale

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2016

AGRADECIMENTOS

RESUMO

As mudanças climáticas globais vêm sendo aceleradas pelas atividades antrópicas e afetam a distribuição das espécies, porém, seus impactos ainda não são bem estabelecidos, em especial no tocante ao aumento do nível do mar. Uma vez que se espera que o nível do mar se eleve pouco até o fim do século, ele não é considerado na maioria das análises. Porém, ele é um fator de extrema importância para as espécies costeiras. Nesse sentido, esse estudo explorou a resposta da distribuição geográfica potencial, através da Modelagem de Nicho Ecológico, de 48 espécies de plantas da costa brasileira, buscando evidenciar a importância do nível do mar para essas espécies, comparando suas respostas ao clima, exclusivamente, com as respostas diante da elevação do nível do mar, em cenário de mudanças climáticas. Para isso, utilizamos um total de 894 registros de ocorrência das espécies e cinco variáveis bioclimáticas, que seguiram o cenário de emissão de gases de efeito estufa RCP 8.5 para o ano de 2080, segundo os Modelos de Circulação Geral HadGEM2-ES e MIROC-ESM. Posteriormente, mapeamos a distribuição de cada espécie através da modelagem consenso, para o presente e futuro, utilizando cinco algoritmos (BIOCLIM, GLM, Random Forests, MaxEnt e SVM). Os mapas consenso foram recortados utilizando-se os limites geográficos de restingas de 13 estados brasileiros, segundo a Fundação SOS Mata Atlântica. Dos mapas consenso futuros, nós excluímos o aumento do nível do mar em 1 m, segundo Li *et al.* (2009). Os resultados mostraram uma redução significativa de 41% da área predita como adequada no futuro, considerando somente o clima, aumentando para 57%, quando inserido o nível do mar. Doze espécies tiveram previsões de perda completa de área climaticamente adequada até 2080, o que implicaria em um quadro de extinção para essas espécies. Com a inserção do nível do mar nas análises, mais duas espécies integram a lista das que correm risco de extinção associado às mudanças climáticas. Nossos resultados reafirmam, portanto, que apesar de aumentar pouco, o nível do mar é significativo para a perda de área adequada futura para a ocupação das espécies. Como os nossos resultados não incluem fatores importantes para a costa, como a geomorfologia, eles são considerados conservadores, podendo ser ainda mais drásticos do que o apresentado.

Palavras-chave: mudanças climáticas, aumento do nível do mar, modelagem de nicho ecológico, distribuição geográfica, plantas da costa brasileira.

ABSTRACT

Key-words:

SUMÁRIO

OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE PLANTAS COSTEIRAS . i

1. INTRODUÇÃO	1
2. MÉTODOS	3
2.1. Dados Bióticos	3
2.2. Dados Abióticos	4
2.3. Modelagem de Nicho Ecológico	5
2.4. Processamento e Análise dos Mapas.....	7
3. RESULTADOS	9
3.1. Previsões Espécie-específicas	9
3.2. Previsões para Padrões de Riqueza	15
4. DISCUSSÃO	18
5. REFERÊNCIAS.....	22
6. ANEXOS	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados utilizados para refinamento dos mapas. A) Distribuição das restingas brasileiras segundo a Fundação SOS Mata Atlântica. B) Introgressão marinha (aumento de 1 m do nível do mar) segundo Li <i>et al.</i> (2009).	9
Figura 2. Histograma com a frequência de espécies e suas respectivas perdas de porcentagem de área adequada para o futuro, considerando exclusivamente o clima. ..	11
Figura 3. Histograma com a frequência de espécies e suas respectivas perdas de porcentagem de área adequada para o futuro, considerando o nível do mar, em cenário de mudanças climáticas.	12
Figura 4. Área adequada para a presença de espécies de plantas no presente (1.403 polígonos de restinga), no futuro, considerando somente o clima (749 polígonos de restinga) e, o clima mais o nível do mar (466 polígonos de restinga), ao longo da costa brasileira.	16
Figura 5. Riqueza de plantas estimada para três categorias de resultados, focando no (A) nordeste, (B) sudeste e (C) sul da costa brasileira.	17
Figura A1. Matriz de correlação de Pearson entre as 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim, em que: bio1 - Temperatura média anual; bio2 - Amplitude térmica média do dia; bio3 - Isotermalidade; bio4 - Sazonalidade da temperatura; bio5 - Temperatura máxima do mês mais quente; bio6 - Temperatura máxima do mês mais frio; bio7 - Variação da temperatura anual; bio8- Temperatura média do trimestre mais chuvoso; bio9 - Temperatura média do trimestre mais seco; bio10 - Temperatura média do trimestre mais quente; bio11 - Temperatura média do trimestre mais frio; bio12 - Precipitação anual; bio13 - Precipitação do mês mais chuvoso; bio14 - Precipitação do mês mais seco; bio15 - Sazonalidade da precipitação; bio16 - Precipitação do trimestre mais chuvoso; bio17 - Precipitação do trimestre mais seco; bio18 - Precipitação do trimestre mais quente; bio19 - Precipitação do trimestre mais frio.....	34
Figura A2. Área adequada para a presença da espécie <i>Ditassa banksii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	35

Figura A3. Área adequada para a presença da espécie <i>Peplonia asteria</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	35
Figura A4. Área adequada para a presença da espécie <i>Anthurium harrisii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	36
Figura A5. Área adequada para a presença da espécie <i>Anthurium maricense</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	36
Figura A6. Área adequada para a presença da espécie <i>Schefflera selloi</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	37
Figura A7. Área adequada para a presença da espécie <i>Allagoptera arenaria</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	37
Figura A8. Área adequada para a presença da espécie <i>Bactris glassmanii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	38
Figura A9. Área adequada para a presença da espécie <i>Syagrus schizophylla</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	38
Figura A10. Área adequada para a presença da espécie <i>Litothamnus ellipticus</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	39
Figura A11. Área adequada para a presença da espécie <i>Cordia pilosa</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	39

Figura A12. Área adequada para a presença da espécie <i>Tetragastris occhionii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	40
Figura A13. Área adequada para a presença da espécie <i>Kielmeyera elata</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	40
Figura A14. Área adequada para a presença da espécie <i>Salacia arborea</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	41
Figura A15. Área adequada para a presença da espécie <i>Couepia schottii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	41
Figura A16. Área adequada para a presença da espécie <i>Clusia sellowiana</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	42
Figura A17. Área adequada para a presença da espécie <i>Connarus ovatifolius</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	42
Figura A18. Área adequada para a presença da espécie <i>Evolvulus maximiliani</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	43
Figura A19. Área adequada para a presença da espécie <i>Doliocarpus sellowianus</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	43
Figura A20. Área adequada para a presença da espécie <i>Doliocarpus validus</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	44

Figura A21. Área adequada para a presença da espécie <i>Tetracera boomii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	44
Figura A22. Área adequada para a presença da espécie <i>Leiothrix pilulifera</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	45
Figura A23. Área adequada para a presença da espécie <i>Erythroxylum ovalifolium</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	45
Figura A24. Área adequada para a presença da espécie <i>Croton compressus</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	46
Figura A25. Área adequada para a presença da espécie <i>Croton sphaerogynus</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	46
Figura A26. Área adequada para a presença da espécie <i>Abarema turbinata</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	47
Figura A27. Área adequada para a presença da espécie <i>Andira carvalhoi</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	47
Figura A28. Área adequada para a presença da espécie <i>Brodriguesia santosii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	48
Figura A29. Área adequada para a presença da espécie <i>Inga maritima</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	48

Figura A30. Área adequada para a presença da espécie <i>Inga pleiogyna</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	49
Figura A31. Área adequada para a presença da espécie <i>Leptolobium bijugum</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	49
Figura A32. Área adequada para a presença da espécie <i>Macrolobium rigidum</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	50
Figura A33. Área adequada para a presença da espécie <i>Moldenhawera blanchetiana</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	50
Figura A34. Área adequada para a presença da espécie <i>Moldenhawera nutans</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	51
Figura A35. Área adequada para a presença da espécie <i>Parkia bahiae</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	51
Figura A36. Área adequada para a presença da espécie <i>Zollernia glabra</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	52
Figura A37. Área adequada para a presença da espécie <i>Rhodostemonodaphne capixabensis</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	52
Figura A38. Área adequada para a presença da espécie <i>Pavonia alnifolia</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	53

Figura A39. Área adequada para a presença da espécie <i>Calycolpus legrandii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	53
Figura A40. Área adequada para a presença da espécie <i>Eugenia azeda</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	54
Figura A41. Área adequada para a presença da espécie <i>Eugenia catharinae</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	54
Figura A42. Área adequada para a presença da espécie <i>Neomitranthes obtusa</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	55
Figura A43. Área adequada para a presença da espécie <i>Ouratea crassa</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	55
Figura A44. Área adequada para a presença da espécie <i>Chiococca plowmanii</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	56
Figura A45. Área adequada para a presença da espécie <i>Malanea harleyi</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	56
Figura A46. Área adequada para a presença da espécie <i>Mitracarpus eichleri</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	57
Figura A47. Área adequada para a presença da espécie <i>Pagamea harleyi</i> no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.	57

Figura A48. Área adequada para a presença da espécie *Manilkara decrescens* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira. 58

Figura A49. Área adequada para a presença da espécie *Pouteria macahensis* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira. 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Desempenho dos modelos de distribuição produzidos por diferentes algoritmos, baseado na média e desvio padrão (D.P.) do TSS de todas as espécies; e o número de espécies cuja média do TSS foi maior do que 0,7.....	10
Tabela 2. Média dos valores mínimos, médios (com desvio padrão – D.P.) e máximos para cada variável, extraídos dos registros de ocorrências das 48 espécies.	10
Tabela 3. Área adequada aproximada para a manutenção das 48 espécies do estudo no cenário atual e em cenário futuro (2080) de mudanças climáticas. Diferença na Área refere-se a futuras contrações (valores negativos) ou expansões (valores positivos) da área adequada.	12
Tabela 4. Resultado do teste de Wilcoxon, a partir dos valores de riqueza dos mapas consenso, em que N é o número de pontos aleatoriamente distribuídos nos polígonos de restinga, nos três diferentes mapas de riqueza.....	16
Tabela A1. Número de registros de ocorrência, e resultado das médias dos valores de TSS e de desvio padrão (D.P.), por algoritmo e por espécie.	29

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais estão cada vez mais em pauta, preocupando todo o planeta. De acordo com o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), as mudanças climáticas vêm sendo aceleradas pelas atividades antrópicas, em virtude da emissão de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), decorrentes da queima de combustíveis fósseis, das mudanças no uso da terra e, também, da agricultura (IPCC, 2014). O IPCC revela, ainda, que a temperatura média do planeta pode aumentar em 4,8°C até o ano de 2100. O aumento de temperatura acarreta a expansão térmica dos oceanos, bem como o derretimento das calotas polares, levando a um aumento do nível do mar, que pode ultrapassar 80 cm até o fim do século (IPCC, 2014). Essas estimativas, entretanto, são entendidas como conservadoras por diversos pesquisadores (Overpeck *et al.*, 2006; Willis & Church, 2012). Hay *et al.* (2015), mostraram que, no século XX, a aceleração no aumento do nível do mar foi maior do que a prevista pelo IPCC. Essa diferença afeta, também, as futuras previsões de elevação do mar, que devem ser maiores do que as esperadas.

Os ecossistemas, no geral, tendem a ser afetados pelas mudanças climáticas e pelo aumento do nível do mar, mas as regiões costeiras serão primariamente ameaçadas (Feagin *et al.*, 2005). Isso porque tratam-se de ecossistemas vulneráveis à intrusão salina, inundação e erosão (Klein & Nicholls, 1999; Mimura, 1999). Pesquisas precedentes apontaram uma preocupação de impactos futuros em áreas antrópicas (Nicholls, 2002) e nos habitats de espécies ameaçadas de extinção (Daniels *et al.*, 1993; Fish *et al.*, 2005; LaFever *et al.*, 2007; Fluentes *et al.*, 2009).

A intensidade dos impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade ainda é, em grande parte, desconhecida, principalmente nos trópicos (Vale *et al.*, 2009). Contudo, as respostas das espécies diante desse cenário já foram descritas no tocante à mudança na fenologia e na distribuição geográfica das espécies, o que aumenta os seus riscos de extinção (McCarty, 2001; Parmesan, 2006; Bellard *et al.*, 2012).

No que tange aos efeitos sobre as espécies, Menon *et al.* (2010) fizeram uma avaliação preliminar das consequências do aumento do nível do mar sobre a biodiversidade terrestre global. O estudo prevê taxas expressivas de extinção de espécies, sobretudo na costa Atlântica da América do Sul, com um alagamento de 46%

das restingas do sudeste brasileiro, o que acarretaria na extinção de 7% das espécies endêmicas dessa região. As previsões para o estuário do Amazonas são ainda mais alarmantes, posto que 78% das várzeas do Marajó podem ser inundadas, culminando na extinção de 17% das suas espécies endêmicas.

Diante desse panorama, existe a possibilidade de que essas espécies afetadas migrem para o interior da costa, se estabelecendo no novo litoral, que podem ser potencialmente adequados para a sua sobrevivência (Menon *et al.*, 2010). No entanto, isso não é bem verdade, uma vez que os seres humanos tendem a habitar cada vez mais as regiões costeiras, devido à maior parte da atividade econômica e serviços, - como turismo e agricultura -, se localizarem na costa (Nicholls, 1995). Com isso, não haverá novo habitat costeiro suficiente para a migração das espécies atingidas, podendo levá-las a extinção local, em virtude das alterações antrópicas no ecossistema. Sendo assim, apesar de se esperar uma contração no habitat das espécies, os prováveis efeitos do aumento do nível do mar sobre a distribuição futura das espécies, em cenário de mudanças climáticas, é pouco conhecido.

A resposta da distribuição geográfica das espécies, diante dos efeitos das mudanças climáticas, tem sido avaliada por uma ferramenta que vem sendo amplamente utilizada: a Modelagem de Distribuição de Espécies, mais conhecida como Modelagem de Nicho Ecológico (Franklin, 2010). O resultado mostra a distribuição potencial da espécie, que se traduz na sua tolerância ambiental ou preferência de habitat (Guisan & Zimmermann, 2000; Peterson *et al.*, 2011, Peterson & Soberón, 2012).

Por se tratar de um ecossistema com especificidades geomorfológicas e abrigar um alto número de espécies endêmicas, o estudo das regiões costeiras é de suma importância. O litoral brasileiro possui mais de 7 mil km de extensão, se estendendo do estado do Amapá até o Rio Grande do Sul. Ao longo das últimas décadas, as regiões costeiras do Brasil vêm sendo extensamente estudadas em termos de levantamento florístico (Porto & Dillenburg, 1986; Cordazzo & Seeliger, 1987; Araujo & Oliveira, 1988; Cordazzo & Costa, 1989; Danilevicz, 1989; Sá, 1992; Rossoni & Baptista, 1994; Falkenberg, 1999; Citadini-Zanette *et al.*, 2001; Scherer *et al.*, 2005; Palma & Jarenkow, 2008), taxonômico (Oliveira-Filho *et al.*, 1989; Carneiro & Assis, 1996), estudos fenológicos (Marques & Oliveira, 2004), geomorfológicos (Muehe, 2010; Nicolodi & Petermann, 2010) e da dinâmica da vegetação (Hay & Lacerda, 1980; Bernardi *et al.*, 1987; Bernardi & Seeliger, 1989). Entretanto, a resposta das espécies

desse ecossistema, em cenários de mudanças climáticas e de aumento do nível do mar, ainda não foi estudada. Diante disso, esse trabalho objetivou explorar a resposta da distribuição geográfica potencial, através dos modelos de nicho ecológico, de 48 espécies de plantas da costa brasileira, frente às mudanças climáticas e ao aumento do nível do mar. Buscamos ainda, evidenciar a importância do nível do mar para essas espécies, comparando suas respostas ao clima, exclusivamente, com as respostas diante da elevação de 1 m do mar, em cenário de mudanças climáticas.

2. MÉTODOS

2.1. Dados Bióticos

A Lista de Espécies da Flora do Brasil (Flora do Brasil; <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/>) é uma base de dados que fornece informações nomenclaturais e, também, sobre a distribuição geográfica da vegetação brasileira.

A partir desta base, foi feito um filtro de espécies, a fim de que fossem identificadas aquelas que: 1) pertençam ao grupo das Angiospermas; 2) habitem o substrato terrícola; 3) sejam endêmicas e nativas do Brasil; e, por fim, 4) ocorram nas restingas (Mata Atlântica). Ao final da filtragem, identificaram-se 254 espécies de Angiospermas terrícolas da costa brasileira.

Os registros de ocorrência das espécies desta lista preliminar foram compilados na base de dados on-line *speciesLink* (<http://splink.cria.org.br>) e na literatura científica. Os registros de ocorrência foram então revistos um a um, através do software Google Earth Pro (versão 7.1.7), para que registros com erro de localização pudessem ser corrigidos ou excluídos. Somente as espécies que possuísem pelo menos 10 registros de ocorrência com localização confiável foram analisadas. Além disso, considerando que muitas espécies da lista preliminar tinham registros de ocorrência fora da costa, apenas aquelas com pelo menos 95% dos registros de ocorrência a 50 km da costa para dentro foram mantidas nas análises.

Com isso, o número final de espécies analisadas foi reduzido para 48, com um total de 894 registros únicos de ocorrência (Tabela A1).

2.2. Dados Abióticos

Compilamos os dados climáticos para o presente e para o futuro a partir da base de dados do WorldClim, que contém 19 variáveis bioclimáticas derivadas de dados de temperatura e precipitação, em diferentes resoluções (Hijmans *et al.*, 2005). Optamos por trabalhar com variáveis cuja resolução do grão fosse a mais fina possível, isto é, 30 arc-segundos (célula com cerca de 1 km de lado), devido à especificidade de habitat das espécies selecionadas. As variáveis foram recortadas para uma área de 100 km ao longo da costa brasileira, constituindo a extensão básica de análise.

A fim de reduzir a colinearidade entre essas variáveis, um subgrupo foi selecionado, com um coeficiente de correlação $(r) < |0,6|$ entre as variáveis. Foi gerada uma matriz de correlação de Pearson das 19 variáveis bioclimáticas, a partir dos valores das variáveis em 10 mil pontos aleatoriamente distribuídos, utilizando o pacote *corrplot* (versão 0.77; Wei & Simko, 2016) no software R (versão 3.3.0; R Core Team, 2016) (Figura A1). O conjunto final selecionado incluiu cinco variáveis: amplitude térmica média do dia, temperatura média do trimestre mais chuvoso, precipitação anual, precipitação do mês mais seco e precipitação do trimestre mais quente.

Os valores futuros das variáveis bioclimáticas, projetados para o ano de 2080, seguiram as previsões do cenário de emissão de gases de efeito estufa “business as usual” (RCP 8.5), do último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014). Esse cenário representa um baixo desenvolvimento socioeconômico, um rápido crescimento da população humana e uma mudança tecnológica lenta (Riahi *et al.*, 2011). Ou seja, é compatível com a situação atual, sem previsão de mudanças globais substanciais nos padrões de consumo e produção da população humana e, conseqüentemente, nas taxas de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (van Vuuren *et al.*, 2011). Foram utilizadas as previsões de dois Modelos de Circulação Geral (GCMs) dentro desse cenário futuro, o HadGEM2-ES e o MIROC-ESM, que são amplamente empregados em modelos na América do Sul e Caribe (Chou *et al.*, 2014).

2.3. Modelagem de Nicho Ecológico

Sabe-se que diferentes algoritmos de modelagem de nicho geram resultados distintos (Elith & Graham, 2009; Diniz-Filho *et al.*, 2009). Por isso, utilizamos cinco diferentes algoritmos, que apresentam diferentes abordagens matemáticas: um envelope climático (BIOCLIM), um estatístico (GLM) e três de aprendizado de máquina (Random Forests, MaxEnt e SVM).

BIOCLIM é um algoritmo de envelope climático que é amplamente utilizado por ser de fácil interpretação. Ele utiliza como dado biológico de entrada somente registros de presença para prever a adequabilidade climática. Essa previsão é feita a partir dos valores dos preditores climáticos em associação com os registros de presença da espécie (Booth *et al.*, 2014), delimitando o envelope climático a partir dos valores mínimos e máximos das variáveis ambientais nos registros de ocorrência da espécie.

Os modelos lineares generalizados (GLMs) são extensões dos modelos normais lineares, ou seja, tratam-se de regressões lineares. Esse algoritmo utiliza como dado biológico de entrada tanto registros de presença quanto registros de ausência das espécies. Esses modelos são formados por uma variável resposta (variável dependente) e variáveis explanatórias ou explicativas (variáveis independentes). Nos GLMs, a variável resposta pode assumir distribuições não normais, como Poisson e binomial, por exemplo, sendo passíveis de transformação. No âmbito da Modelagem de Distribuição Geográfica de Espécies, o algoritmo GLM é muito utilizado porque, na maioria das vezes, os preditores possuem distribuições não lineares e a variável resposta é categórica (presença *versus* ausência da espécie), podendo ser convertida em valores contínuos de probabilidade de ocorrência. A variável resposta é, então, associada aos preditores por uma função de ligação (Franklin, 2010).

O Random Forests é um algoritmo de aprendizagem de máquina, ou seja, que aprende indutivamente a partir de dados. Os algoritmos dessa família tomam decisões baseadas em cálculos anteriores, visando corrigir os erros e reproduzir resultados cada vez mais confiáveis. Ele é baseado na classificação de árvores de regressão (Breiman, 2001) e utiliza como dado biológico de entrada registros de presença e de ausência das espécies. O algoritmo SVM (*support vector machine*) também está dentro da família de aprendizado de máquina, e se baseia em métodos de aprendizagem supervisionada, utilizados para classificação e regressão (Franklin, 2010), necessitando de dados de

presença e ausência das espécies. Para esses três algoritmos que exigem dados de ausência (GLM, Random Forests e SVM), foram gerados dados de pseudo-ausência, uma vez que dados de ausência verdadeira não estão disponíveis para as espécies do estudo (ou para praticamente qualquer outra espécie). Para tanto, foi utilizado o modelo de distribuição gerado pelo algoritmo BIOCLIM, que extraiu os valores das cinco variáveis bioclimáticas anteriormente selecionadas nos registros de ocorrência das espécies, plotando os pontos de pseudo-ausência. Os dados de pseudo-ausência foram equivalentes a um número 100 vezes maior do que o número de registros de ocorrência de cada espécie, valor esse sugerido por Lobo & Tognolli (2011), pois, segundo eles, a quantidade de pontos afeta muito mais o modelo do que sua localização.

O MaxEnt também é um algoritmo da família de aprendizagem de máquina e baseia-se na entropia máxima (Phillips *et al.*, 2006). Esse algoritmo, no entanto, utiliza como dado biológico de entrada, registros de presença e pontos de “background”, gerados matematicamente. Segundo o Princípio da Entropia Máxima, a melhor distribuição de probabilidade é a que maximiza a entropia e obedece as restrições conhecidas. O MaxEnt é amplamente utilizado devido à necessidade de somente dados de presença, bem como por demonstrar uma alta acurácia preditiva (Elith *et al.*, 2006). Para esse algoritmo, foram gerados 10 mil pontos aleatórios na área de estudo como dados de background.

A modelagem foi realizada no pacote dismo (versão 1.1-1, Hijmans *et al.*, 2016) do software R (versão 3.3.0; R Core Team, 2016). Para modelar a distribuição de cada espécie, foram selecionados, aleatoriamente, 90% dos registros de ocorrência para treino, ou seja, para calibrar o modelo de distribuição, e 10% foram utilizados para testar as previsões do modelo, por validação cruzada. A escolha da partição se deu pelo fato de que a maioria das espécies do estudo possuíam poucos registros de ocorrência. Ao particionar os dados dessa forma, a validação cruzada torna-se um jackknife - que é o método mais adequado quando se trabalha com poucos pontos de presença -, pois k (número de partições) é igual ou aproximadamente igual ao número de registros de ocorrência de cada espécie. Os modelos foram rodados 50 vezes para cada espécie (10 por algoritmo).

Os modelos resultantes foram projetados no espaço geográfico em valores contínuos de adequabilidade climática da espécie. Para que pudessem ser feitas comparações entre os algoritmos e posterior modelagem consenso, os resultados foram

convertidos para valores binários (áreas não adequadas ou adequadas: 0 ou 1) (Liu *et al.*, 2005). Isso foi feito através da escolha de um limiar de corte (*threshold*), em que somente as áreas com valor igual ou acima desse limiar são consideradas adequadas para a existência da espécie. O limiar escolhido foi o da maximização da sensibilidade e da especificidade (Liu *et al.*, 2013). A sensibilidade do modelo é uma medida de quanto dos registros de ocorrência estão nas áreas previstas como adequadas pelo modelo, ou seja, das presenças corretamente previstas. Já a especificidade é uma medida de quanto das ausências estão nas áreas previstas como áreas de ausência pelo modelo, ou seja, das ausências corretamente previstas.

Após a conclusão da modelagem de nicho, é preciso avaliar os modelos gerados, testando sua capacidade de previsão. A avaliação é feita a partir da confrontação dos resultados com os registros não utilizados durante a geração dos modelos (os 10% separados para teste).

A métrica de desempenho escolhida para avaliar os modelos foi o TSS (True Skill Statistic) (Allouche *et al.*, 2006). O valor do TSS varia de -1 a +1, em que 1 indica um desempenho preditivo perfeito e zero ou valores negativos indicam que a predição do modelo não é melhor do que um resultado gerado ao acaso. Somente os modelos cujo $TSS > 0,7$ foram incluídos nas análises. Os demais foram descartados.

Modelos consenso foram gerados a partir do somatório dos modelos finais binários para cada corte temporal, utilizando-se a regra da maioria (Araújo & New, 2007).

2.4. Processamento e Análise dos Mapas

Os modelos consenso mapeiam as áreas que são climaticamente adequadas para o estabelecimento das espécies, tanto no presente quanto no futuro. A distribuição das espécies do estudo, no entanto, não está limitada apenas pelo clima, pois são espécies limitadas a uma cobertura vegetal muito específica e restrita. Assim, para dar realismo biológico aos modelos gerados, os mapas consenso foram recortados utilizando-se os limites geográficos da cobertura de restingas de 13 estados brasileiros, disponíveis online pela Fundação SOS Mata Atlântica (Fund. SOS Mata Atlântica & INPE, 2015; <http://mapas.sosma.org.br/>) (Figura 1A). Esse mapeamento já vem sendo realizado há 25 anos, sendo cada vez mais aperfeiçoado e detalhado, devido aos avanços

tecnológicos na área da informação, principalmente do sensoriamento remoto. Apesar de não especificada, o mapeamento é feito baseado em imagens são de alta resolução, retiradas de satélites. O mapeamento das formações de restinga inclui a vegetação florestal e as regiões dos cordões de restinga com vegetação herbácea. O mapeamento não existe para o estado de Pernambuco, que foi realizado no software Google Earth Pro (versão 7.1.7).

Os mapas de consenso de adequabilidade climática recortados para a área de restingas foram chamados de mapas de mapas finais de distribuição. Adicionalmente, para os mapas finais de adequabilidade no futuro também foram removidas as áreas perdidas em razão do aumento do nível do mar (1 m), utilizando os dados de Li *et al.* (2009) (Figura 1B). Assim, foi possível comparar três conjuntos de resultados para cada espécie analisada: i) adequabilidade atual, ii) adequabilidade futura (2080) considerando apenas mudanças exclusivamente climáticas e iii) adequabilidade futura (2080) considerando mudanças climáticas e de nível do mar. Para todos os mapas foi feito o cálculo da área (em km²) de adequabilidade, utilizando a projeção cônica de Albers para a América do Sul, que permite o cálculo das áreas com o mínimo de distorções. Também foi feita a sobreposição dos mapas a fim de gerar mapas de riqueza de espécies nos três conjuntos de resultados.

Com o intuito de testar estatisticamente a diferença das áreas de adequabilidade predita nos três diferentes conjuntos de resultados, foi plotado, aleatoriamente, um ponto para cada polígono de restinga nos mapas de riqueza. Desses pontos, foram extraídos os valores de riqueza de espécies. Como os dados são não normais (testado por Shapiro-Wilk), optamos pelo teste de Wilcoxon. A escolha do número de pontos se deu devido ao teste de Wilcoxon ser um teste não paramétrico, que tende a fazer com que os resultados dos testes deem significativos.

As análises de modelagem e estatísticas foram realizadas no software R e a manipulação dos mapas foi feita no Sistema de Informações Geográficas ArcGIS (versão 10.2).

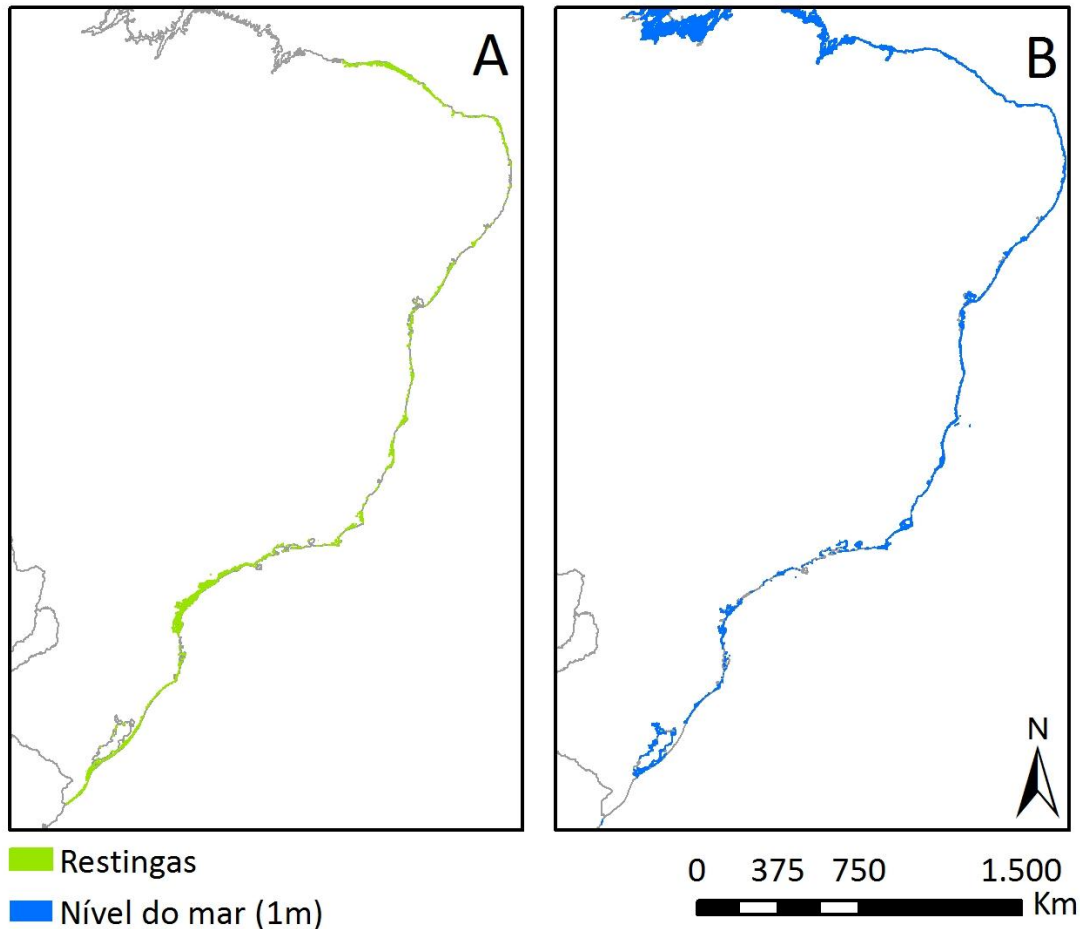


Figura 1. Dados utilizados para refinamento dos mapas. A) Distribuição das restingas brasileiras segundo a Fundação SOS Mata Atlântica. B) Introgressão marinha (aumento de 1 m do nível do mar) segundo Li *et al.*(2009).

3. RESULTADOS

3.1. Previsões Espécie-específicas

O desempenho médio dos modelos foi excelente para todos os cinco algoritmos (TSS > 0,9) (Tabela 1). Todas as 48 espécies tiveram os seus valores de TSS acima de 0,7 para os algoritmos GLM, Random Forests, MaxEnt e SVM. Para o algoritmo BIOCLIM, somente cinco espécies obtiveram o valor médio de TSS abaixo de 0,7: *Anthurium harrisii*, *Schefflera selloi*, *Litothamnus ellipticus*, *Connarus ovatifolius* e *Evolvulus maximiliani* (Tabela 1, Tabela A1).

As 48 espécies de plantas ocorrem, no geral, em locais onde a temperatura média anual varia entre 23 e 24,9°C, e a precipitação anual varia de 1.146,1 a 2.111,8 mm (Tabela 2).

Tabela 1. Desempenho dos modelos de distribuição produzidos por diferentes algoritmos, baseado na média e desvio padrão (D.P.) do TSS de todas as espécies; e o número de espécies cuja média do TSS foi maior do que 0,7.

Algoritmo	TSS		N° de espécies com TSS > 0,7
	Média	D.P	
BIOCLIM	0,916	0,148	43
GLM	0,987	0,005	48
Random Forests	0,991	0,024	48
MaxEnt	0,995	0,002	48
SVM	0,984	0,021	48

Tabela 2. Média dos valores mínimos, médios (com desvio padrão – D.P.) e máximos para cada variável, extraídos dos registros de ocorrências das 48 espécies.

Variáveis Bioclimáticas	Mín.	Média (D.P.)	Máx.
Variação diurna média de temperatura (°C)	6,3	7,4 (0,5)	8,8
Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	22,8	24,6 (0,4)	25,7
Precipitação anual (mm)	1.146,1	1.547,9 (306,8)	2.111,8
Precipitação do mês mais seco (mm)	41	73,3 (25,3)	114
Precipitação do trimestre mais quente (mm)	229,1	373,6 (71,3)	562,4

Para todas as espécies houve previsão de mudanças na área de adequabilidade em cenário das mudanças climáticas (Tabela 3). Das 48 espécies, somente três (*Anthurium harrisii*, *Rhodostemonodaphne capixabensis* e *Pavonia alnifolia*) tiveram previsão de expansão de distribuição no futuro.

Para as outras 45 espécies de plantas houve previsão de contração da área climaticamente adequada, tanto no futuro, com o clima isoladamente (Figura 2), quanto no futuro, acrescido da elevação do nível do mar (Figura 3). Doze espécies (*Syagrus*

schizophylla, *Tetragastris occhionii*, *Kielmeyera elata*, *Couepia schottii*, *Connarus ovatifolius*, *Tetracera boomii*, *Erythroxylum ovalifolium*, *Andira carvalhoi*, *Moldenhawera blanchetiana*, *Parkia bahiae*, *Mitracarpus eichleri* e *Pouteria macahensis*) tiveram previsões de perda completa de área climaticamente adequada até 2080, o que implicaria em um quadro de extinção para essas espécies. Quando adicionado o aumento do 1 m no nível do mar, previsto para o fim do século, mais duas (*Anthurium maricense*, *Inga marítima*) integram a lista de espécies que correm risco de extinção associado às mudanças climáticas (Tabela 3).

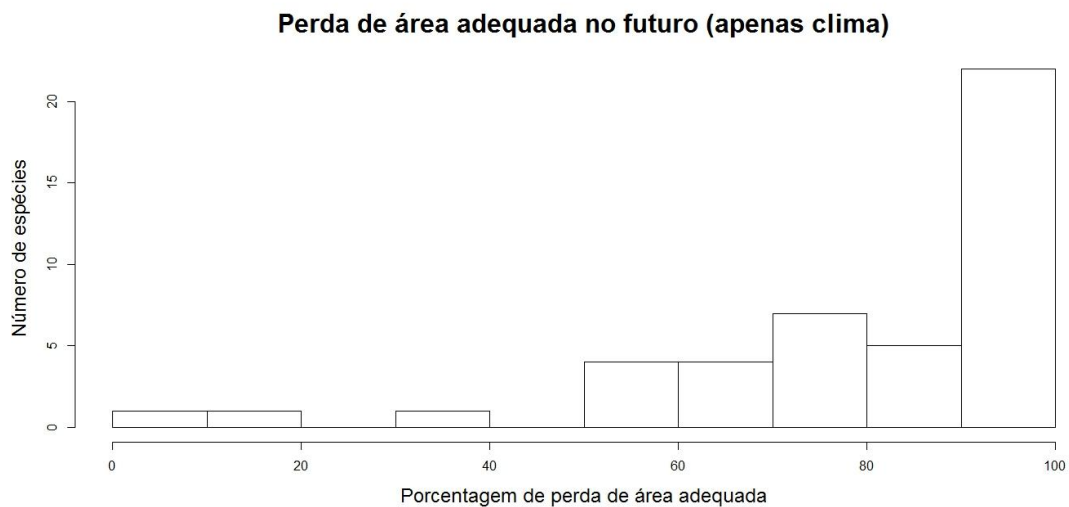


Figura 2. Histograma com a frequência de espécies e suas respectivas perdas de porcentagem de área adequada para o futuro, considerando exclusivamente o clima.

Perda de área adequada no futuro (clima + nível do mar)

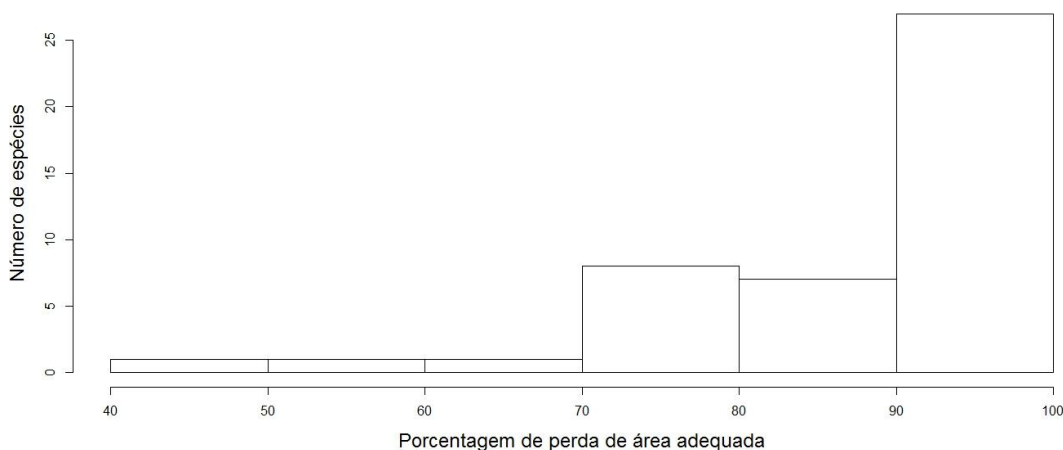


Figura 3. Histograma com a frequência de espécies e suas respectivas perdas de porcentagem de área adequada para o futuro, considerando o nível do mar, em cenário de mudanças climáticas.

Tabela 3. Área adequada aproximada para a manutenção das 48 espécies do estudo no cenário atual e em cenário futuro (2080) de mudanças climáticas. Diferença na Área refere-se a futuras contrações (valores negativos) ou expansões (valores positivos) da área adequada.

Espécie	Área Adequada (km ²)			Diferença na Área (%)	
	Atual	Futura (apenas clima)	Futura (clima + nível do mar)	Futura (apenas clima)	Futura (clima + nível do mar)
Apocynaceae					
<i>Ditassa banksii</i>	251	216	32	-14	-87
<i>Peplonia asteria</i>	897	215	108	-76	-88
Araceae					
<i>Anthurium harrisii</i>	62	131	5	+111	-92
<i>Anthurium maricense</i>	4	1	0	-72	-100
Araliaceae					
<i>Schefflera selloi</i>	637	145	76	-77	-88
Arecaceae					

<i>Allagoptera arenaria</i>	1342	406	151	-70	-89
<i>Bactris glassmanii</i>	65	3	0	-95	-100
<i>Syagrus schizophylla</i>	646	0	0	-100	-100
Asteraceae					
<i>Litothamnus ellipticus</i>	147	93	84	-37	-43
Boraginaceae					
<i>Cordia pilosa</i>	670	112	99	-83	-85
Burseraceae					
<i>Tetragastris ochionii</i>	18	0	0	-100	-100
Calophyllaceae					
<i>Kielmeyera elata</i>	57	0	0	-100	-100
Celastraceae					
<i>Salacia arborea</i>	3360	1636	936	-51	-72
Chrysobalanaceae					
<i>Couepia schottii</i>	33	0	0	-100	-100
Clusiaceae					
<i>Clusia sellowiana</i>	195	55	46	-72	-76
Connaraceae					
<i>Connarus ovatifolius</i>	334	0	0	-100	-100
Convolvulaceae					
<i>Evolvulus maximiliani</i>	639	277	133	-57	-79
Dilleniaceae					
<i>Doliocarpus sellowianus</i>	645	290	153	-55	-76
<i>Doliocarpus validus</i>	224	52	12	-77	-95
<i>Tetracera boomii</i>	269	0	0	-100	-100
Eriocaulaceae					
<i>Leiothrix pilulifera</i>	292	3	0	-99	-100
Erythroxylaceae					
<i>Erythroxylum ovalifolium</i>	5	0	0	-100	-100
Euphorbiaceae					
<i>Croton compressus</i>	3262	1198	1193	-63	-63
<i>Croton sphaerogynus</i>	57	10	3	-82	-95
Fabaceae					

<i>Abarema turbinata</i>	173	2	2	-99	-99
<i>Andira carvalhoi</i>	9	0	0	-100	-100
<i>Brodriguesia santosii</i>	1005	63	57	-94	-94
<i>Inga maritima</i>	61	8	0	-87	-100
<i>Inga pleiogyna</i>	187	35	27	-81	-85
<i>Leptolobium bijugum</i>	797	8	4	-99	-99
<i>Macrolobium rigidum</i>	167	4	0	-97	-100
<i>Moldenhawera blanchetiana</i>	12	0	0	-100	-100
<i>Moldenhawera nutans</i>	542	209	82	-62	-85
<i>Parkia bahiae</i>	119	0	0	-100	-100
<i>Zollernia glabra</i>	155	43	41	-73	-74
Lauraceae					
<i>Rhodostemonodaphne capixabensis</i>	67	379	127	+470	+91
Malvaceae					
<i>Pavonia alnifolia</i>	24	407	129	+1563	+429
Myrtaceae					
<i>Calycolpus legrandii</i>	300	1	1	-100	-100
<i>Eugenia azeda</i>	411	375	166	-9	-60
<i>Eugenia catharinae</i>	2700	452	195	-83	-93
<i>Neomitranthes obtusa</i>	330	154	81	-53	-76
Ochnaceae					
<i>Ouratea crassa</i>	830	32	11	-96	-99
Rubiaceae					
<i>Chiococca plowmanii</i>	592	172	137	-71	-77
<i>Malanea harleyi</i>	357	117	75	-67	-79
<i>Mitracarpus eichleri</i>	579	0	0	-100	-100
<i>Pagamea harleyi</i>	346	30	19	-91	-95
Sapotaceae					
<i>Manilkara decrescens</i>	624	22	15	-96	-98
<i>Pouteria macahensis</i>	360	0	0	-100	-100

3.2. Previsões para Padrões de Riqueza

A área total de plantas no presente é de 4.310 km², com 1.403 polígonos de restinga. No futuro, considerando o clima exclusivamente, a área caiu para 2.543 km², com 749 polígonos de restinga. Após a inserção do aumento do nível do mar, nas análises, a área total disponível para as espécies reduziu para 1.851 km², com 466 polígonos de restinga (Figura 4, Tabela 4). Considerando todas as espécies analisadas, portanto, houve uma retração média de 41% da área predita como adequada no futuro, considerando somente o clima. Quando inserido o nível do mar, essa perda aumenta para 57%. Ambas as diferenças são significantes ($p < 0,001$) (Tabela 4). A diferença das mudanças exclusivamente climáticas, para mudanças climáticas considerando o nível do mar, também foram testadas e estatisticamente significativas ($W = 194.910$; $p = 0,0003$), com uma redução adicional de 27% da área adequada.

A riqueza de plantas mudou ao longo das três categorias de resultados. No presente a riqueza máxima alcançou 30 espécies. Diante do cenário futuro de mudanças climáticas que inclui mudanças exclusivamente climáticas, a riqueza caiu para 14 espécies. Adicionando as mudanças de nível do mar às previsões futuras, a riqueza máxima caiu um pouco mais, para 13 espécies (Figura 5).

A riqueza de plantas no presente, para a região nordeste, é maior no estado da Bahia, mas no futuro, essa riqueza diminui (Fig. 5A). Na região sudeste, por sua vez, não houve muita diferença na distribuição da riqueza das espécies em 2080, sendo possível observar uma pequena perda de área adequada para espécies endêmicas de regiões costeiras no estado de São Paulo, e uma perda um pouco maior nos estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, quando incorporado o nível do mar (Fig. 5B). No sul, a maior riqueza atual está concentrada no estado de Santa Catarina, que é perdida, contudo, nos cenários futuros (Fig. 5C). Também é possível verificar uma alta perda de habitat na região do Paraná. Além disso, observa-se que as espécies tendem a migrar para o Rio Grande do Sul em cenários futuros (Fig. 5C).

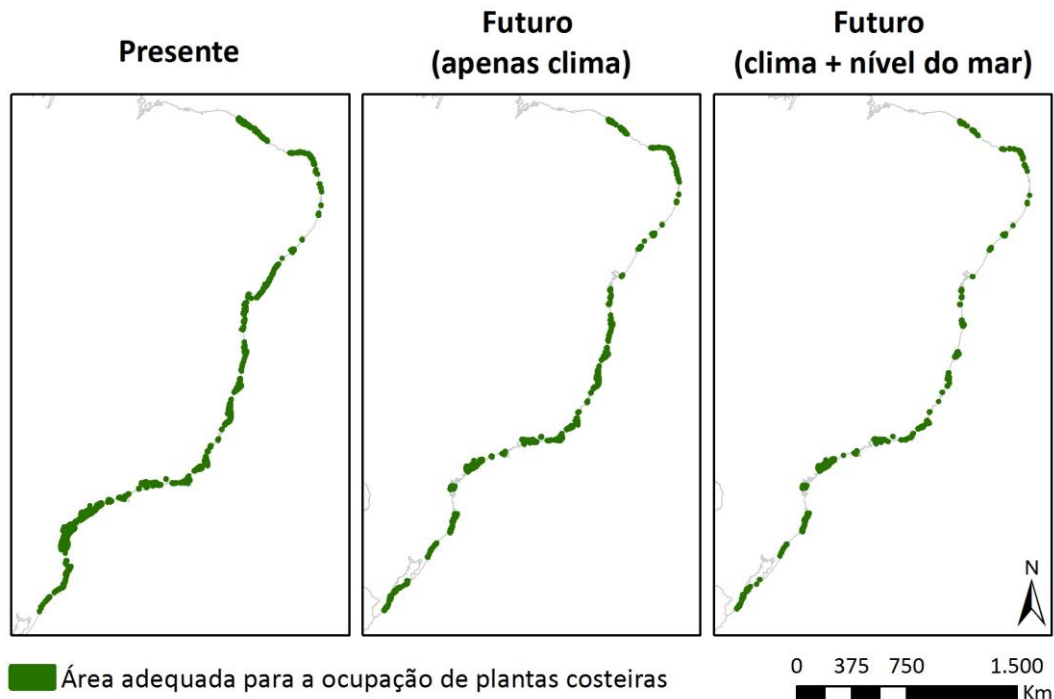


Figura 4. Área adequada para a presença de espécies de plantas no presente (1.403 polígonos de restinga), no futuro, considerando somente o clima (749 polígonos de restinga) e, o clima mais o nível do mar (466 polígonos de restinga), ao longo da costa brasileira. Obs. A largura da área foi expandida para efeito de visualização, mas as dimensões seguem o contorno definido na Figura 1A.

Tabela 4. Resultado do teste de Wilcoxon, a partir dos valores de riqueza dos mapas consenso, em que N é o número de pontos aleatoriamente distribuídos nos polígonos de restinga, nos três diferentes mapas de riqueza.

Projeções	N	Teste de significância
Presente	1.403	-
Futuro (apenas clima)	749	W = 692.520 $p < 0,001$
Futuro (clima + nível do mar)	466	W = 461.110 $p < 0,001$

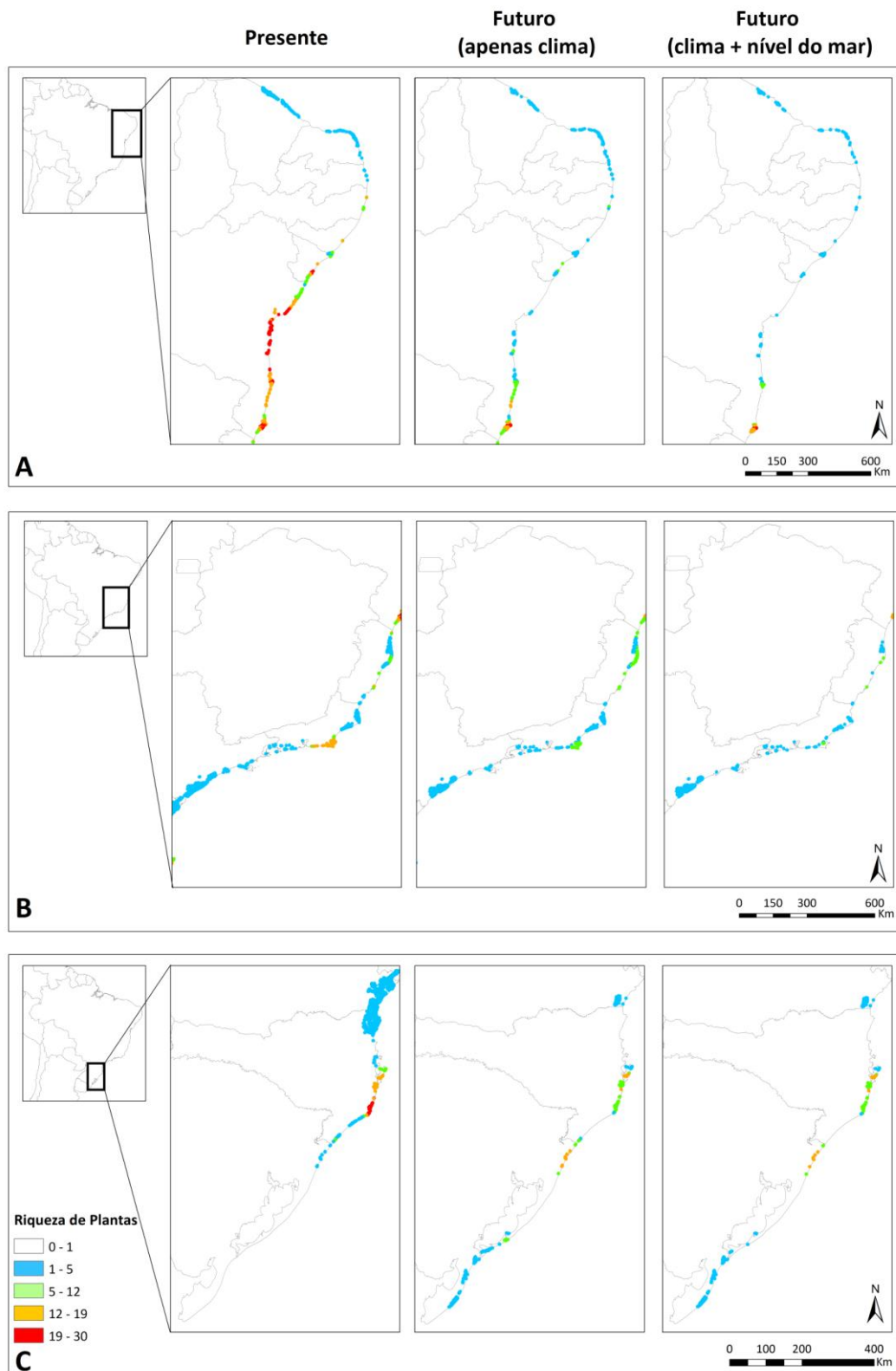


Figura 5. Riqueza de plantas estimada para três categorias de resultados, focando no (A) nordeste, (B) sudeste e (C) sul da costa brasileira. Obs. A largura da área foi expandida para efeito de visualização, mas as dimensões seguem o contorno definido na Figura 1A.

4. DISCUSSÃO

A utilização de diferentes algoritmos na modelagem de nicho ecológico causa mais variabilidade nos resultados do que o uso de diversos Modelos de Circulação Geral (Pearson *et al.*, 2006; Diniz-Filho *et al.*, 2009). Em virtude disso, a combinação de diversos algoritmos em uma abordagem consenso tem sido cada vez mais recorrente na literatura (Araújo & New, 2007). A abordagem consenso, ou *ensemble*, visa minimizar as variações e incertezas dos modelos, gerando resultados mais confiáveis. O desempenho desses algoritmos se consolida em uma análise importante, visto que somente os melhores são incluídos no *ensemble*.

Os cinco algoritmos apresentaram excelentes desempenhos, como testado pelo valor do TSS. Comparados entre si, o BIOCLIM foi o que apresentou o pior desempenho. Isso já foi observado em outro estudo (Elith *et al.*, 2006) e, de fato, era esperado, uma vez que esse algoritmo é matematicamente bastante simples. Apesar de não possuir uma alta diferença no valor do TSS quando comparado aos outros algoritmos, o MaxEnt foi o que apresentou o melhor desempenho entre os cinco. Realmente, ele vem apresentando bons resultados e sendo utilizado em diversos outros trabalhos. Garner *et al.* (2015), por exemplo, utilizaram somente o algoritmo MaxEnt para prever a distribuição futura de plantas da costa da Califórnia. O MaxEnt obteve valores de desempenho considerados excelentes para todos os modelos.

Dentre as 19 variáveis climáticas, aquelas classificadas como variáveis de precipitação, além de serem as que mais variaram, foram também as de maior importância para as espécies, com destaque para a “precipitação anual”, “precipitação do mês mais seco” e “precipitação do trimestre mais quente”, que foram selecionadas pela matriz de correlação de Pearson (Tabela 2).

A importância da precipitação em ambientes costeiros também foi identificada pelo estudo de Muehe *et al.* (2010), no qual se encontra uma relação indireta entre a precipitação e a erosão costeira, nas dunas no Perú, no município de Cabo Frio (RJ). Segundo os pesquisadores, as alterações previstas no balanço hídrico, que levará a um clima mais seco, podem reduzir a cobertura vegetal das dunas. Por consequência, o transporte de sedimentos se desloca com mais força para as áreas antrópicas, causando a erosão da praia do Perú. A pesquisa salienta, ainda, que as observações feitas para essa

localidade podem ser extrapoladas para outras regiões costeiras do estado do Rio de Janeiro com maiores taxas de precipitação, como Araruama e Saquarema, por exemplo.

É sabido que as mudanças climáticas causam efeitos sobre a distribuição geográfica das espécies. Porém, a magnitude do seu impacto permanece pouco conhecida, principalmente nas regiões tropicais (Vale *et al.*, 2009). Esse é o caso das espécies associadas a regiões costeiras. Nossos resultados preveem que a distribuição de plantas endêmicas de ambientes costeiros no Brasil poderá ser reduzida em até 41% até o ano de 2080 devido às mudanças climáticas. Quando o aumento do nível do mar é considerado, a redução área adequada para as espécies aumenta para 57%. Apesar de ser desprezado na maioria das pesquisas, devido às previsões de baixa elevação, o nível do mar é um fator preponderante para muitas espécies, especialmente as costeiras (Menon *et al.*, 2010). O nosso trabalho reafirma intensamente essa importância, ao revelar, nas suas análises, um aumento de 16% de perda potencial de área adequada, quando se inclui a elevação do nível do mar, em cenário de mudanças climáticas. As projeções de mudanças futuras na distribuição das espécies, em virtude do aumento do nível do mar, estão, de fato, apontando distribuições mais restritas e, até mesmo, extinções locais. Mendoza-González *et al.* (2013), por exemplo, modelaram o nicho climático de seis espécies de plantas de dunas costeiras, que ocorrem no Golfo do México e da Península de Yucatán. Eles previram que a distribuição potencial das espécies será reduzida em até 85% até 2050 e quase em 100%, até 2080. Outro estudo, de Allen & Lendemer (2016), quantificou os impactos da subida do nível do mar sobre 193 espécies de líquens, na costa atlântica do leste da América do Norte. As espécies, que já perderam 32% de seu habitat diante do desenvolvimento da agricultura, podem perder mais 12,4 a 33,7%, dependendo do aumento do nível do mar.

As espécies *Anthurium harrisii*, *Rhodostemonodaphne capixabensis* e *Pavonia alnifolia* apresentaram expansão nas suas distribuições potenciais futuras. Isso não era esperado, pois as três espécies possuem distribuição menor do que 100 km² e são endêmicas da costa brasileira, com ocorrência em, no máximo, dois estados diferentes. Alguns estudos preveem uma expansão das áreas de ocorrência de determinadas espécies. Feagin *et al.* (2010) prognosticaram que em baixas elevações do nível do mar (0,18 m), a área de espécies de plantas de pântanos salgados é aumentada, uma vez que elas têm potencial para migrar para regiões mais altas. Para espécies de terra firme, como em nosso estudo, Garner *et al.* (2015) modelaram a distribuição de 88 espécies de

plantas costeiras da Califórnia, frente às mudanças climáticas e ao nível do mar, e encontraram perda de habitat futuro para a maioria das espécies. Porém, para algumas, foram previstas expansão futura de área, chegando a um aumento de 339% para uma delas.

Uma alternativa para as espécies afetadas pelo aumento do nível do mar é a migração para o interior da linha costa (Feagin *et al.*, 2010). Esta migração, porém, é improvável, uma vez que se espera que o desenvolvimento humano, em regiões costeiras, limite a migração potencial de plantas. Além disso, o habitat disponível para comunidades de plantas e animais é reduzido em virtude da erosão costeira (Feagin, 2005), que tende a aumentar com a elevação do nível do mar (Muehe, 2010).

Para o Brasil, Nicolodi e Petermann (2010) definiram o grau de vulnerabilidade da zona costeira brasileira. Diversas áreas foram classificadas com grau alto ou muito alto de vulnerabilidade da costa, evidenciando as cidades do Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP) e diversas capitais da região nordeste. As regiões de baixa altitude, com alta densidade de habitantes e socialmente carentes são as mais vulneráveis, segundo o estudo. Na planície costeira do Peró, no município de Cabo Frio (RJ), o aumento do nível do mar levará à erosão e recuo do litoral, além de inundar as planícies baixas (Muehe *et al.*, 2010). Costa *et al.* (2010) identificaram o centro metropolitano do Recife como uma das cidades mais vulneráveis ao aumento do nível do mar da costa brasileira. O estudo aponta que 45,7% da extensão do litoral encontram-se sob alta vulnerabilidade e que, com uma elevação de 1m do nível do mar, 54 km² da área do centro metropolitano do Recife estão vulneráveis a uma potencial inundação.

Como em qualquer projeção futura de distribuição de espécies, a nossa abordagem inclui limitações e incertezas. Em primeiro lugar, nossa modelagem foi baseada nas previsões de aumento do nível do mar do IPCC (2014). Porém, a literatura recente (Vermeer & Rahmstorf, 2009; Nicholls & Cazenave, 2010) indica que o nível do mar pode se elevar mais do que o previsto pelo IPCC (2014). Além disso, as projeções de aumento do nível do mar não incluíram outros fatores importantes que podem afetar a distribuição potencial futura das espécies, como as inundações fluviais e a intrusão salina em aquíferos costeiros.

A modelagem de nicho ecológico também apresenta uma série de limitações. Nós utilizamos somente espécies que tinham, no mínimo, 10 pontos de ocorrência, visando a obter um desempenho aceitável. Em virtude disso, excluímos o total de 158

espécies, que devem sofrer ainda mais em cenários de mudanças climáticas e aumento do nível do mar. A ferramenta não inclui fatores bióticos, como a dispersão, que é especialmente importante para plantas. A metodologia objetiva prever a distribuição potencial futura de uma espécie, de acordo com as mudanças climáticas previstas.

A capacidade de migração da espécie, com rapidez suficiente para acompanhar as mudanças do clima, depende de sua taxa de dispersão (Collingham & Huntley, 2000). As plantas possuem uma menor capacidade de dispersar do que os animais, sendo que as endêmicas são ainda mais limitadas. Em virtude do fato de que, no nosso trabalho, 23 espécies são endêmicas de determinado estado (16 na Bahia; cinco no Rio de Janeiro; uma no Espírito Santo; e uma em Santa Catarina), e as outras 25 possuem distribuições disjuntas, isto é, pontuais e separadas, a distribuição futura real das espécies pode ser ainda menor do que a potencial prevista.

As projeções futuras indicam não somente uma redução na extensão das áreas climaticamente adequadas para 2080, como, também, revela locais antes não previstos pelos modelos de distribuição potencial atual, mostrando que as espécies tem potencial climático para migrar mais para o sul do Brasil. Essas áreas têm potencial para serem colonizadas, porém, são muito distantes da área de ocorrência da maioria das espécies, o que se torna uma barreira praticamente intransponível.

5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, J.L. & LENDEMER, J.C. 2016. Quantifying the impacts of sea-level rise on coastal biodiversity: A case study on lichens in the mid-Atlantic Coast of eastern North America. *Biological Conservation*, 202: 119–126.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistics (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223-1232.
- ARAÚJO, M. & NEW, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(1): 42-47.
- ARAUJO, D.S.D. & OLIVEIRA, R.R. 1988. Reserva Estadual da Praia do Sul (Ilha grande, Estado do Rio de Janeiro): Lista preliminar da flora. *Acta bot. bras.* 1(2): 83-94.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15: 365–377.
- BERNARDI, H. & SEELIGER, U. 1989. Population biology of *Blutaparon portulacoides* (St. Hill.) Mears on southern Brazillian backshores. *Ciência e Cultura*, 41(11): 1110-1113.
- BERNARDI, H.; CORDAZZO, C.V.; COSTA, C.S.B. 1987. Efeito das ressacas sobre *Blutaparon portulacoides* (St. Hill.) Mears, nas dunas costeiras do sul do Brasil. *Ciência e Cultura*, 39(5/6): 545-547.
- BOOTH, T.H.; NIX, H.A.; BUSBY, J.R.; HUTCHINSON, M.F. 2014. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Diversity and Distributions*, 20: 1-9.
- BREIMAN, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45: 15-32.
- CARNEIRO, C.E. & ASSIS, M.A. 1996. A família Sapotaceae na planície litorânea de Picinguaba, Ubatuba/SP. *Arq. Biol. Tecnol.*, 39(3): 723-733.
- CITADINI-ZANETTE, V.; SANTOS, R.; SOBRAL, M. 2001. Levantamento florístico da vegetação arbustiva-arbórea em área ecotonal entre Restinga e Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Praia de Palmas, Governador Celso Ramos, Santa Catarina, Brasil). *Revista Tecnologia e Ambiente*, 7(1): 105-120.

- CHOU, S.C; LYRA A.; MOURÃO C.; DERECZYNSKI C.; PILOTTO I.; GOMES J.; *et al.* 2014. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 03: 438–454.
- COLLINGHAM, Y.C. & HUNTLEY, B. 2000. Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. *Ecological Applications*, 10: 131–144.
- CORDAZZO, C.V. & COSTA, C.S.B. 1989. Associações vegetais das dunas frontais de Garopaba (SC). *Ciência e Cultura*, 41(9): 906-910.
- CORDAZZO, C.V. & SEELIGER, U. 1987. Composição e distribuição da vegetação das dunas costeiras ao sul de Rio Grande (RS). *Ciência e Cultura*, 39(3): 321-324.
- COSTA, M.B.S.F.; MALLMANN, D.L.B.; PONTES, P.M.; ARAUJO, M. 2010. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 341-349.
- DANIELS, R.C.; WHITE, T.W.; CHAPMAN, K.K. 1993. Sea-level rise: destruction of threatened and endangered species habitat in South Carolina. *Environmental Management*, 17: 373–385.
- DANILEVICZ, E. 1989. Flora e vegetação da restinga da barra da Laguna do Peixe, Tavares, Rio Grande do Sul: levantamento preliminar. *Iheringia, Série Botânica*, 39: 69-79.
- DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; RANGEL, T.F.; LOYOLA, R.D.; HOF, C.; NOGUÉS-BRAVO, D.; *et al.* 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species under climate change. *Ecography*, 32: 897-906.
- ELITH, J. & GRAHAM, C. 2009. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32: 66-77.
- ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUIBAN, A.; *et al.* 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- FALKENBERG, D.B. 1999. Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, sul do Brasil. *Insula*, 28: 1-30.

- Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:
< <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 24 Nov. 2016.
- FEAGIN, R.A. 2005. Artificial Dunes Created to Protect Property on Galveston Island, Texas: The Lessons Learned. *Ecological Restoration*, 23(2): 89-94.
- FEAGIN, R.A.; SHERMAN, D.J.; GRANT, W.E. 2005. Coastal erosion, global sea-level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3: 359–364.
- FEAGIN, R.A.; MARTINEZ, M.L.; MENDONZA-GONZÁLEZ, G.; COSTANZA, R. 2010. Salt marsh zonal migration and ecosystem service change in response to global sea level rise: a case study from an urban region. *Ecology and Society*, 15(4): 14.
- FISH, M.R.; COTE, I.M.; GILL, J.A.; JONES, A.P.; RENSHOFF, S.; WATKINSON, A.R. 2005. Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conservation Biology*, 19: 482–491.
- FUENTES, M.M.P.B.; LIMPUS, C.J.; HAMANN, M.; DAWSON, J. 2007. Potential impacts of projected sea-level rise on sea turtle rookeries. *Environ Manage*, 40: 430–437. DOI 10.1007/s00267-006-0204-z
- FRANKLIN, J. 2010. Mapping species distributions. Spatial inference and prediction. Cambridge University Press. Cambridge.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 2015. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica - Período 2013-2014. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo, Brasil.
- GARNER, K.L.; CHANG, M.Y.; FULDA, M.T.; BERLIN, J.A.; FREED, R.E.; SOO-HOO, M.M.; *et al.* 2015. Impacts of sea level rise and climate change on coastal plant species in the central California coast. *PeerJ*, 3: e958. DOI: 10.7717/peerj.958.
- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- HAY, J.D. & LACERDA, L.D. 1980. Alterações nas características do solo após fixação de *Neoregelia cruenta* (R. Grah.) L. Smith (Bromeliaceae), em um ecossistema de restinga. *Ciência e Cultura*, 32(7): 863-867.

- HAY, C.C.; MORROW, E.; KOOP, R.E.; MITROVICAL, J.X. 2015. Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature*, 517: 481-484. doi:10.1038/nature14093.
- HIJMANS, R.J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J. 2016. dismo: Species distribution modeling. R package version 1.1-1. Disponível em: <<http://CRAN.Rproject.org/package=dismo>>.
- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- IPCC. CORE WRITING TEAM, PACHAURI, R.K.; MEYER, L.A. (Eds.). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.
- KLEIN, R.J.T.; NICHOLLS, R.J. 1999. Assessment of coastal vulnerability to sea-level rise. *Ambio*, 28: 182–187.
- LaFEVER, D.H.; LOPEZ, R.R.; FEAGIN, R.A.; SILVY, N.J. 2007. Predicting the impacts of future sea-level rise on an endangered lagomorph. *Environmental Management*, 40: 430–437. DOI: 10.1007/s00267-006-0204-z.
- LI, X.; ROWLEY, R.J.; KOSTELNICK J.C.; BRAATEN D.; MEISEL J.; HULBUTTA K. 2009. GIS analysis of global impacts from sea level rise. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(7): 807–818.
- LIU, C.; WHITE, M.; NEWELL, G. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40: 778-789.
- LIU, C.; BERRY, P.M.; DAWSON, T.P.; PEARSON, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385-393.
- LOBO, J.M. & TOGNELLI M.F. 2011. Exploring the effects of quantity and location of pseudo-absences and sampling biases on the performance of distribution models with limited point occurrence data. *Journal for Nature Conservation*, 19: 1-7.
- MARQUES, M.C.M. & Oliveira, P.E.A.M. 2004. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 27(4): 713-723.

- McCARTY, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15: 320–331.
- MENDOZA-GONZÁLEZ, G.; MARTÍNEZ, M.L.; ROJAS-SOTO, O.R.; VÁSQUEZ, G.; GALLEGU-FERNÁNDEZ, J.B. 2013. Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global Change Biology*, 19: 2524–2535. doi: 10.1111/gcb.12236.
- MENON, S.; SOBERÓN, J.; LI, X.; PETERSON, A.T. 2010. Preliminary global assessment of terrestrial biodiversity consequences of sea-level rise mediated by climate change. *Biodivers Conserv*, 19: 1599–1609. DOI 10.1007/s10531-010-9790-4.
- MIMURA, N. 1999. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. *Climate Research*, 12: 137–143.
- MUEHE, D. 2010. Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 173-183.
- MUEHE, D.; BELLIGOTTI, F.M.; LINS-DE-BARROS, F.M.; DE OLIVEIRA, J.F.; MAIA, L.F.P.G. 2010. Potential vulnerability to climate change of the beach-dune system of the Peró coastal plain - Cabo Frio, Rio de Janeiro state, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 267-276.
- NICHOLLS, R.J. 1995. Coastal megacities and climate change. *GeoJournal*, 37: 369-379.
- NICHOLLS, R.J. 2002. Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27: 1455–1466.
- NICHOLLS, R.J. & CAZENAVE, A. 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328: 1517–1520.
- OLIVEIRA-FILHO, A.S.; SENNA, L.M.; PENA, E.M.; ALVES, M.V.S. 1989. Euphorbiaceae Juss. - Espécies ocorrentes nas restingas do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta. bot. bras.*, 3(2): 131-139.
- OVERPECK, J.T.; OTTO-BLIESNER, B.L.; MILLER, G.H.; MUHS, D.R.; ALLEY, R.B.; KIEHL, J.T. 2006. Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise. *Science*, 311: 1747–1750.
- PALMA, C.B. & JARENKOW, J.A. 2008. Estrutura de uma formação herbácea de dunas frontais no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *BIOCIÊNCIAS*, 16(2): 114-124.

- PARMESAN, C. 2006. Ecological and Evolutionary responses to recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637–669.
- PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R.G.; ANDERSON, R.P.; MARTÍNEZMEYER, E.; NAKAMURA, M.; *et al.* 2011. Ecological niches and geographic distributions. *Monographs in Population Biology* 49. Princeton University Press. New Jersey
- PEARSON, R.G.; THULLER, W.; ARAÚJO, M.B.; MARTINEZ-MEYER, E.; BROTONS, L.; MCCLEAN, C.; *et al.* 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33: 1704-1711.
- PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J. 2012. Species distribution modelling and ecological niche modelling: Getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, 10(2): 102-107.
- PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- PORTO, M.L. & DILLENBURG, L.R. 1986. Fisionomia e composição florística de uma mata de restinga da Estação Ecológica do Taim, Brasil. *Ciência e Cultura*, 38(7): 1228-1236.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.
- RIAHI, K.; RAO, S.; KREY, V.; CHO, C.; CHIRKOV, V.; FISCHER G.; *et al.* 2011. RCP 8.5 - A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1): 33–57.
- ROSSONI, M.G. & BAPTISTA, L.R.M. 1994. Composição florística da mata de restinga, Balneário Rondinha Velha, Arroio do Sal, RS, Brasil. *Pesquisas (Botânica)*, 45: 115-131.
- SÁ, C.F.C. 1992. A vegetação da restinga de Ipitangas, Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Saquarema (RJ): fisionomia e listagem de angiospermas. *Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, 31: 87-102.
- SCHERER, A.; MARASCHIN-SILVA, F.; BAPTISTA, L.R.M. 2005. Florística e estrutura do componente arbóreo de matas de Restinga arenosa no Parque Estadual de Itapuã, RS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19(4): 717-726.

- VALE, M.M.; ALVES, M.A.S.; LORINI, M.L. 2009. Mudanças Climáticas: Desafios e Oportunidades para a Conservação da Biodiversidade Brasileira. *Oecologia Brasiliensis*, 13: 518-535.
- van Vuuren, D.P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K. *et al.* 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5. doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- VERMEER, M. & RAHMSTORF, S. 2009. Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(51): 21527–21532.
- WEI, T & SIMKO, V. 2016. corrplot: Visualization of a correlation matrix. R package version 0.77. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=corrplot>>.
- WILLIS, J.K. & CHURCH, J.A. 2012. Regional Sea-Level Projection. *Science*, 336: 550-551. DOI: 10.1126/science.1220366.

6. ANEXOS

Tabela A1. Número de registros de ocorrência, e resultado das médias dos valores de TSS e de desvio padrão (D.P.), por algoritmo e por espécie.

Espécie	Registros	BIOCLIM		GLM		Random Forests		MaxEnt		SVM		Média dos 5 algoritmos
		TSS	D.P	TSS	D.P	TSS	D.P	TSS	D.P	TSS	D.P	TSS
Apocynaceae												
<i>Ditassa banksii</i>	18	0,750	0,335	0,984	0,009	0,997	0,004	0,999	0,002	0,999	0,002	0,946
<i>Peplonia asteria</i>	42	0,813	0,121	0,979	0,013	0,982	0,025	0,994	0,005	0,967	0,074	0,947
Araceae												
<i>Anthurium harrisii</i>	16	0,600	0,436	0,996	0,007	0,998	0,004	0,998	0,006	0,998	0,006	0,918
<i>Anthurium maricense</i>	11	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Araliaceae												
<i>Schefflera selloi</i>	18	0,648	0,448	0,994	0,005	0,996	0,007	0,994	0,005	0,997	0,004	0,926
Arecaceae												
<i>Allagoptera arenaria</i>	60	0,886	0,130	0,974	0,013	0,993	0,008	0,993	0,004	0,992	0,006	0,968
<i>Bactris glassmanii</i>	12	0,900	0,300	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,980

<i>Syagrus schizophylla</i>	27	0,779	0,183	0,975	0,026	0,996	0,005	0,995	0,005	0,960	0,080	0,941
Asteraceae												
<i>Litothamnus ellipticus</i>	16	0,650	0,391	0,988	0,022	0,998	0,008	0,994	0,013	0,948	0,153	0,915
Boraginaceae												
<i>Cordia pilosa</i>	26	0,967	0,100	0,977	0,000	0,996	0,000	1,000	0,000	0,996	0,000	0,987
Burseraceae												
<i>Tetragastris occhionii</i>	12	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Calophyllaceae												
<i>Kielmeyera elata</i>	10	0,900	0,300	0,990	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,978
Celastraceae												
<i>Salacia arborea</i>	15	0,900	0,300	0,955	0,006	0,900	0,300	0,993	0,000	0,883	0,128	0,926
Chrysobalanaceae												
<i>Couepia schottii</i>	10	0,900	0,300	0,999	0,003	1,000	0,000	0,990	0,000	1,000	0,000	0,978
Clusiaceae												
<i>Clusia sellowiana</i>	21	0,950	0,150	0,995	0,000	1,000	0,000	0,998	0,002	0,995	0,001	0,988
Connaraceae												
<i>Connarus ovatifolius</i>	10	0,598	0,488	0,977	0,053	0,898	0,299	0,988	0,021	0,904	0,278	0,873
Convolvulaceae												
<i>Evolvulus maximiliani</i>	20	0,696	0,398	0,975	0,043	0,945	0,148	0,992	0,006	0,936	0,149	0,909
Dilleniaceae												

<i>Doliocarpus sellowianus</i>	17	0,999	0,002	0,961	0,003	0,999	0,004	0,981	0,010	0,989	0,002	0,986
<i>Doliocarpus validus</i>	23	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Tetracera boomii</i>	29	0,967	0,100	0,960	0,002	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,985
Eriocaulaceae												
<i>Leiothrix pilulifera</i>	10	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Erythroxylaceae												
<i>Erythroxylum ovalifolium</i>	14	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Euphorbiaceae												
<i>Croton compressus</i>	10	0,900	0,300	0,963	0,005	0,900	0,300	0,962	0,006	0,994	0,018	0,944
<i>Croton sphaerogynus</i>	14	0,992	0,002	1,000	0,000	0,998	0,006	1,000	0,000	1,000	0,000	0,998
Fabaceae												
<i>Abarema turbinata</i>	19	0,950	0,150	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,990
<i>Andira carvalhoi</i>	12	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Brodriguesia santosii</i>	25	1,000	0,000	0,964	0,000	1,000	0,000	1,000	0,001	0,724	0,100	0,938
<i>Inga maritima</i>	13	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Inga pleiogyna</i>	26	1,000	0,001	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Leptolobium bijugum</i>	39	0,928	0,144	0,980	0,001	1,000	0,001	0,995	0,002	0,997	0,000	0,980
<i>Macrolobium rigidum</i>	22	0,999	0,002	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Moldenhawera blanchetiana</i>	13	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
<i>Moldenhawera nutans</i>	10	0,900	0,300	1,000	0,000	1,000	0,000	0,971	0,003	1,000	0,000	0,974

<i>Parkia bahiae</i>	10	1,000	0,000	0,990	0,000	1,000	0,000	0,990	0,000	1,000	0,000	0,996
<i>Zollernia glabra</i>	21	0,910	0,148	0,990	0,000	0,999	0,004	0,993	0,003	0,997	0,002	0,978
Lauraceae												
<i>Rhodostemonodaphne capixabensis</i>	10	1,000	0,000	0,990	0,000	1,000	0,000	0,990	0,000	1,000	0,000	0,996
Malvaceae												
<i>Pavonia alnifolia</i>	13	0,900	0,300	0,992	0,000	1,000	0,000	0,998	0,003	1,000	0,000	0,978
Myrtaceae												
<i>Calycolpus legrandii</i>	25	0,933	0,200	0,980	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,996	0,000	0,982
<i>Eugenia azeda</i>	10	0,900	0,300	0,990	0,000	0,999	0,003	0,990	0,000	0,990	0,000	0,974
<i>Eugenia catharinae</i>	14	1,000	0,000	0,993	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,999
<i>Neomitranthes obtusa</i>	16	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000
Ochnaceae												
<i>Ouratea crassa</i>	16	0,950	0,150	0,968	0,004	0,999	0,002	0,988	0,010	1,000	0,000	0,981
Rubiaceae												
<i>Chiococca plowmanii</i>	29	0,999	0,002	0,993	0,000	0,997	0,000	1,000	0,000	0,997	0,001	0,997
<i>Malanea harleyi</i>	19	0,900	0,300	0,994	0,002	0,999	0,002	0,995	0,000	0,995	0,000	0,977
<i>Mitracarpus eichleri</i>	21	0,950	0,150	0,985	0,002	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,987
<i>Pagamea harleyi</i>	22	0,946	0,149	0,987	0,001	1,000	0,000	1,000	0,000	0,995	0,000	0,986
Sapotaceae												

<i>Manilkara decrescens</i>	10	1,000	0,000	0,980	0,000	1,000	0,000	0,984	0,005	1,000	0,000	0,993
<i>Pouteria macahensis</i>	18	0,989	0,002	0,983	0,000	1,000	0,000	0,994	0,000	1,000	0,000	0,993

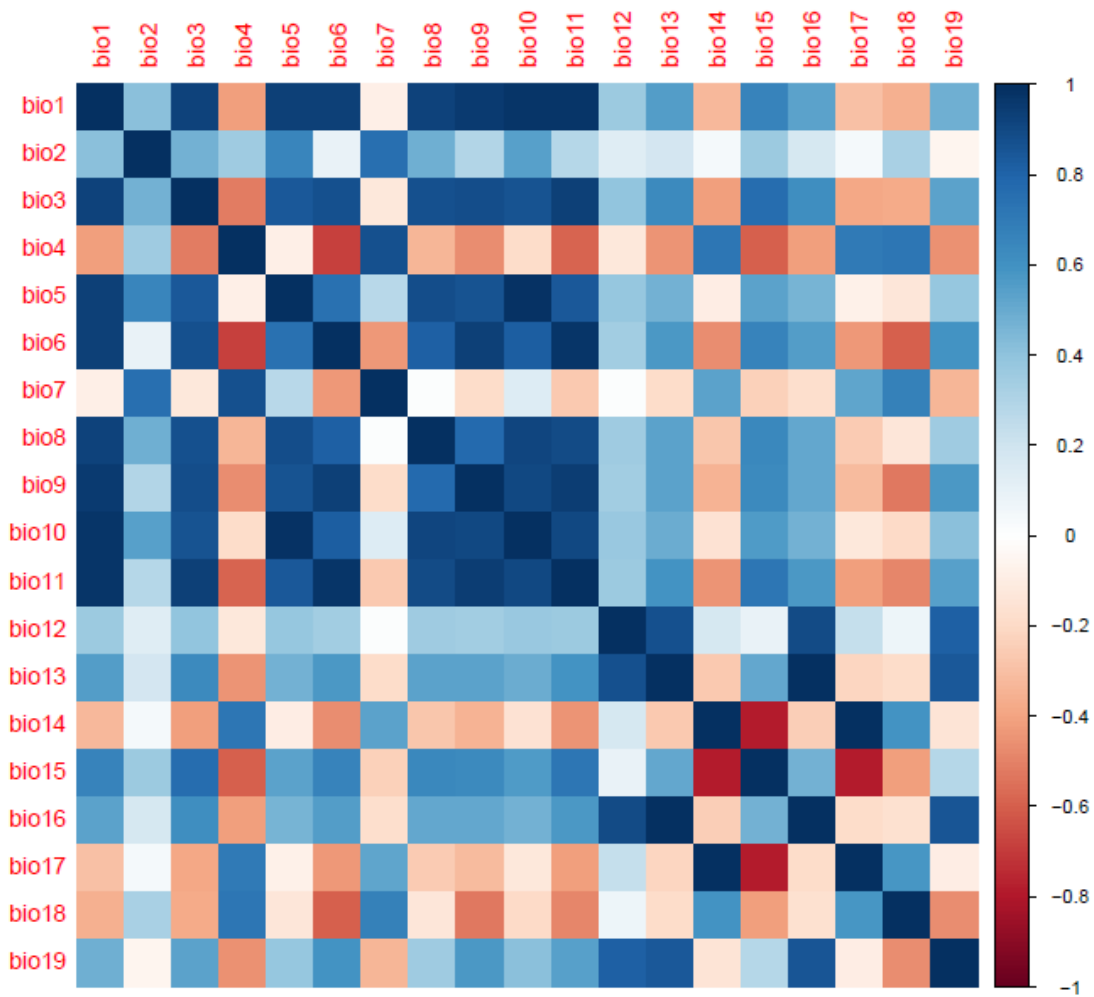


Figura A1. Matriz de correlação de Pearson entre as 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim, em que: bio1 - Temperatura média anual; bio2 - Amplitude térmica média do dia; bio3 - Isotermalidade; bio4 - Sazonalidade da temperatura; bio5 - Temperatura máxima do mês mais quente; bio6 - Temperatura máxima do mês mais frio; bio7 - Variação da temperatura anual; bio8- Temperatura média do trimestre mais chuvoso; bio9 - Temperatura média do trimestre mais seco; bio10 - Temperatura média do trimestre mais quente; bio11 - Temperatura média do trimestre mais frio; bio12 - Precipitação anual; bio13 - Precipitação do mês mais chuvoso; bio14 - Precipitação do mês mais seco; bio15 - Sazonalidade da precipitação; bio16 - Precipitação do trimestre mais chuvoso; bio17 - Precipitação do trimestre mais seco; bio18 - Precipitação do trimestre mais quente; bio19 - Precipitação do trimestre mais frio.

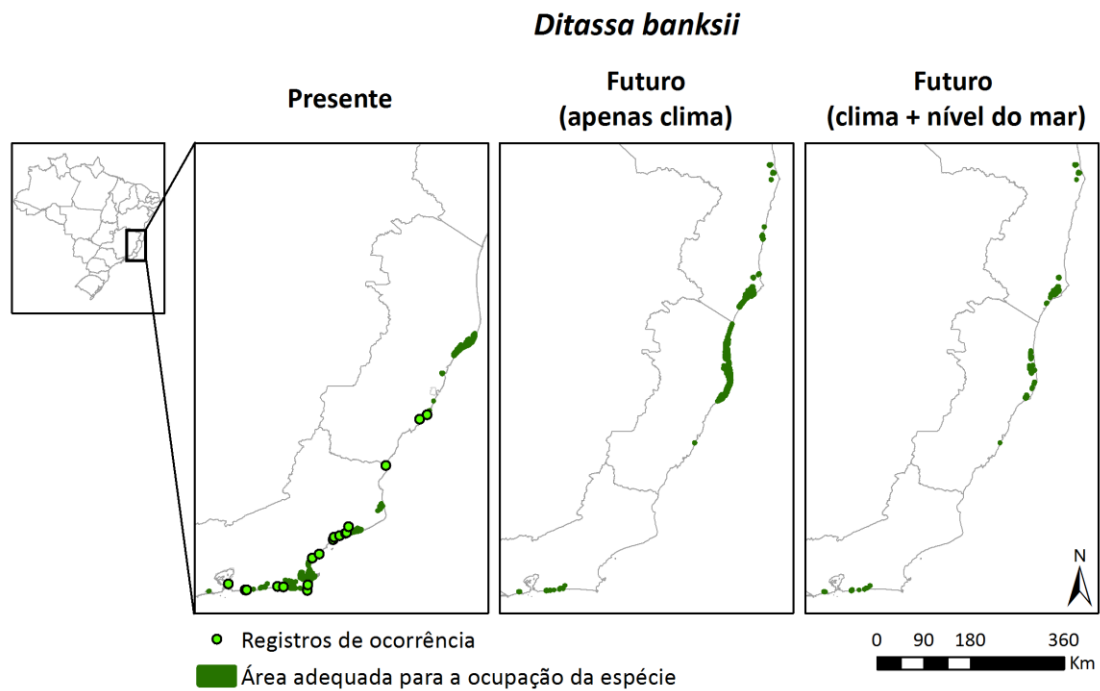


Figura A2. Área adequada para a presença da espécie *Ditassa banksii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

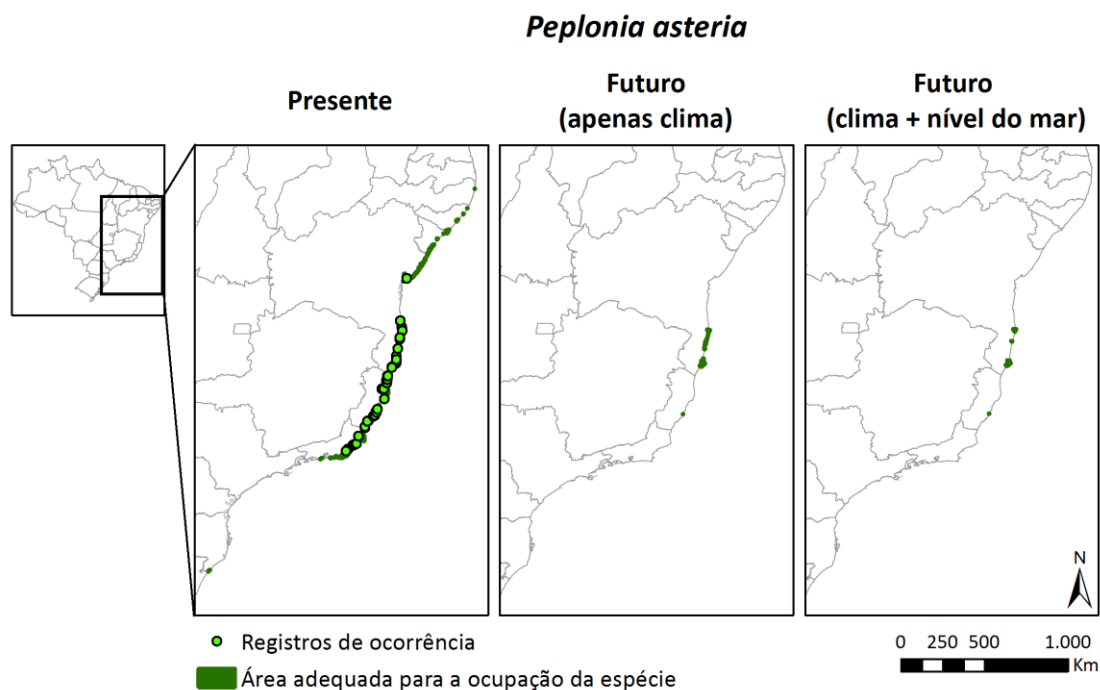


Figura A3. Área adequada para a presença da espécie *Peplonia asteria* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

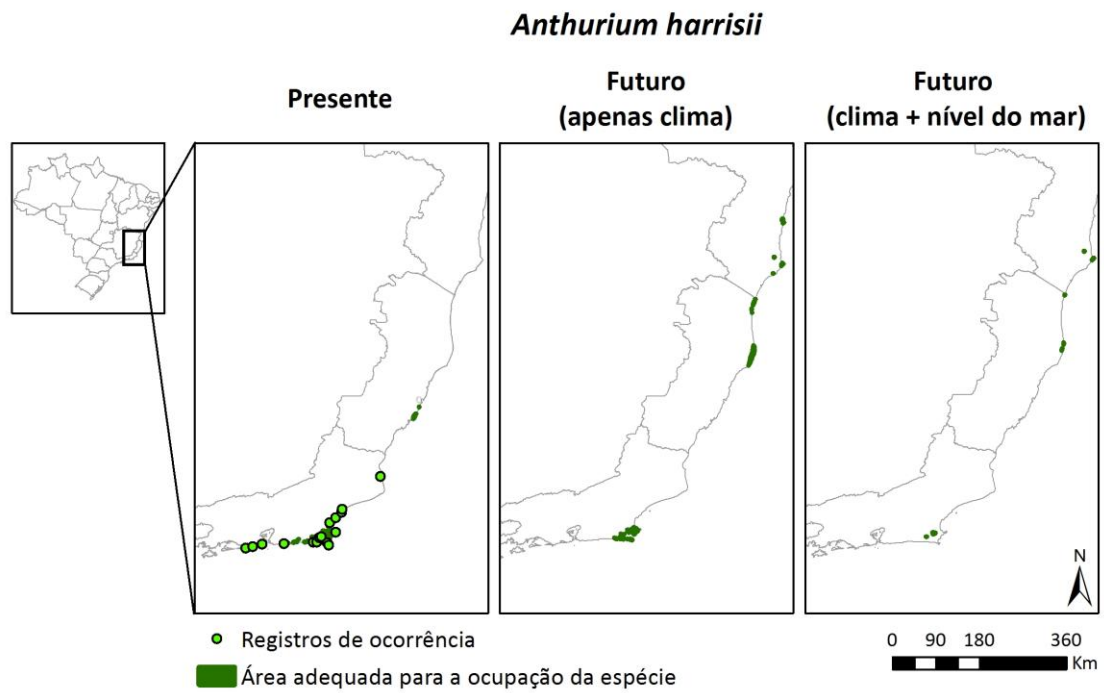


Figura A4. Área adequada para a presença da espécie *Anthurium harrisii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

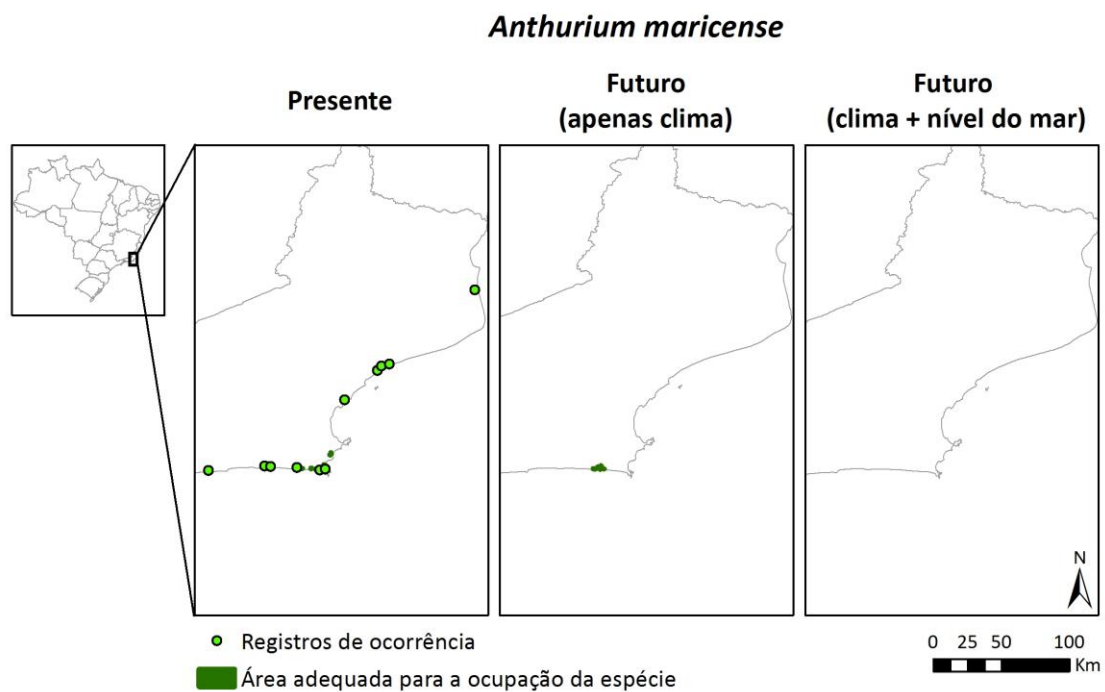


Figura A5. Área adequada para a presença da espécie *Anthurium maricense* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

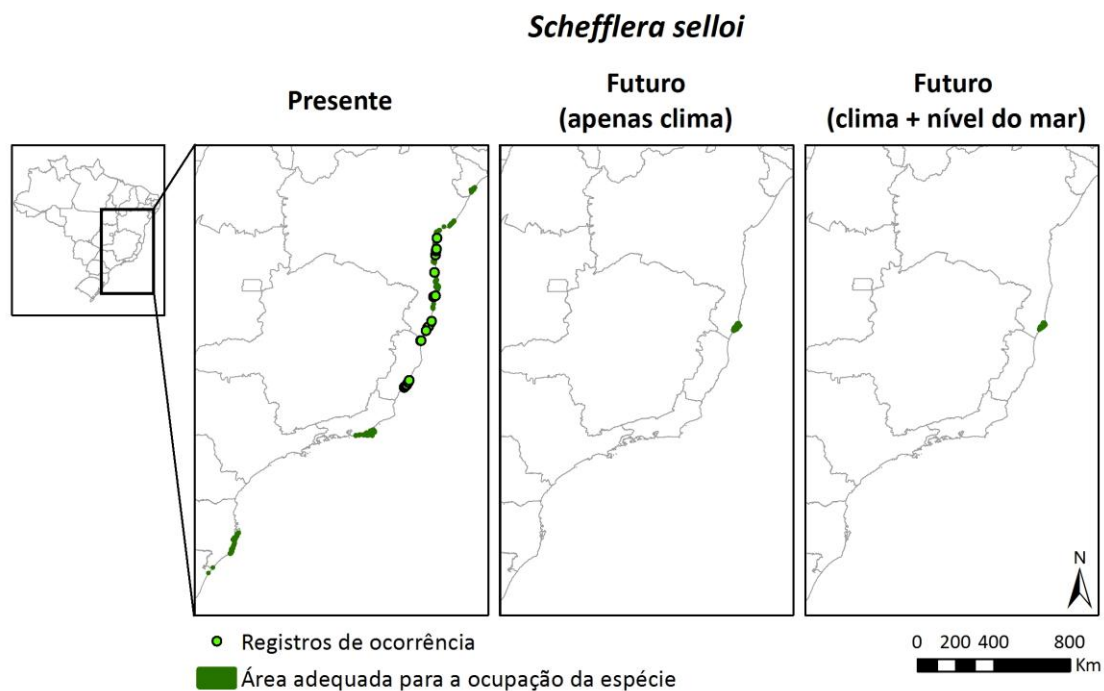


Figura A6. Área adequada para a presença da espécie *Schefflera selloi* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

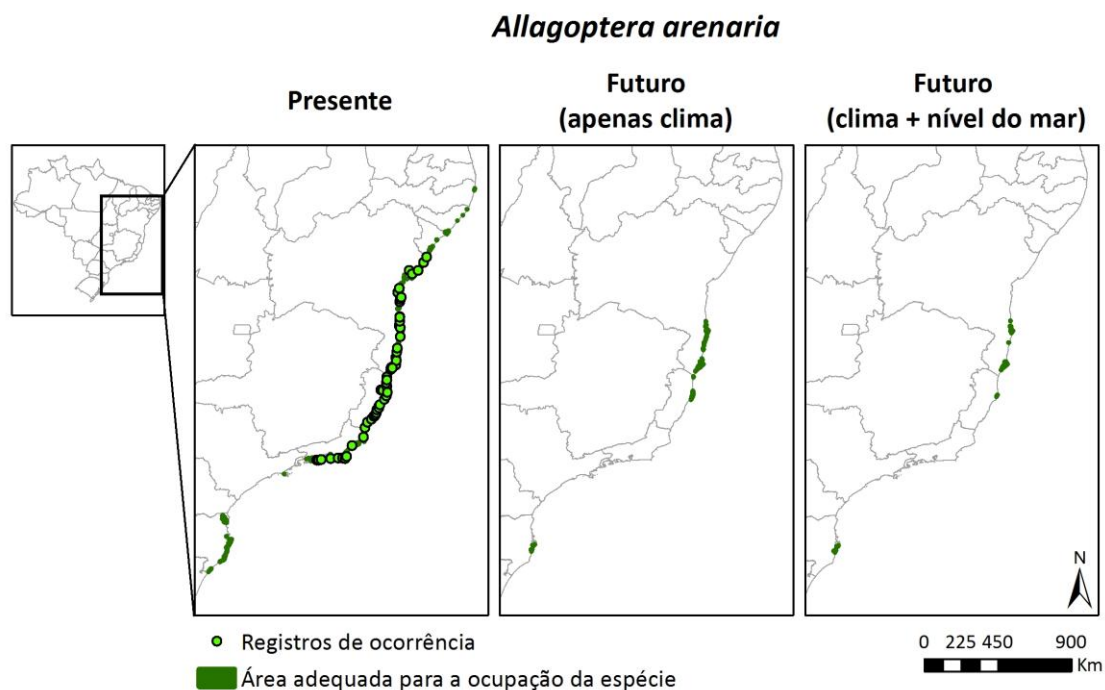


Figura A7. Área adequada para a presença da espécie *Allagoptera arenaria* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

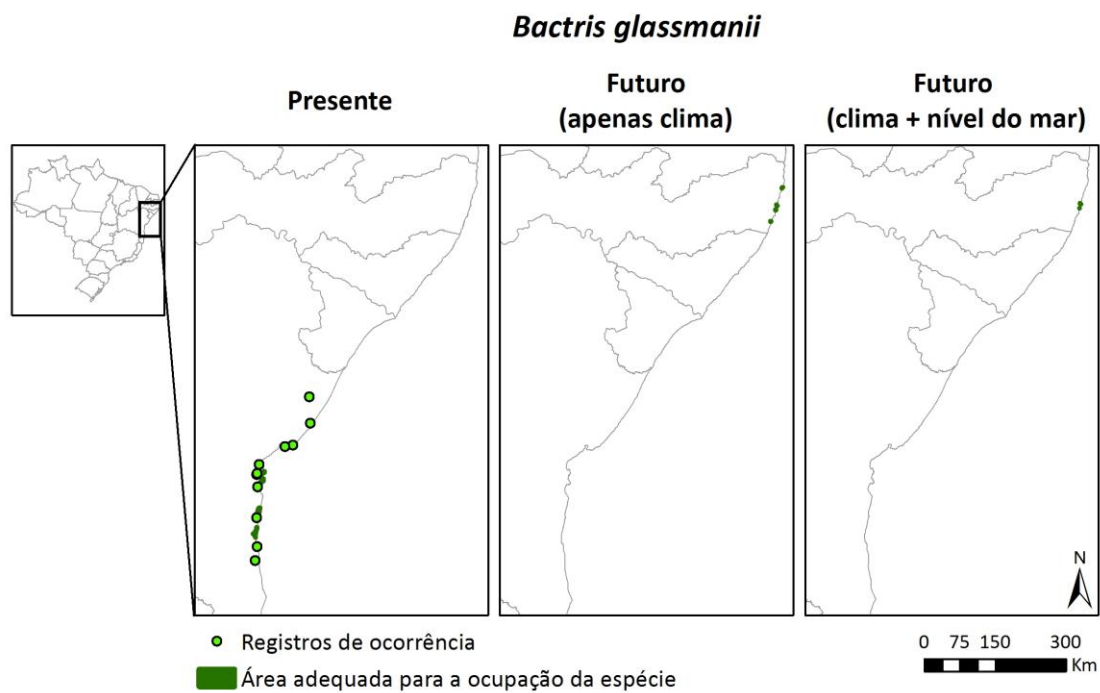


Figura A8. Área adequada para a presença da espécie *Bactris glassmanii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

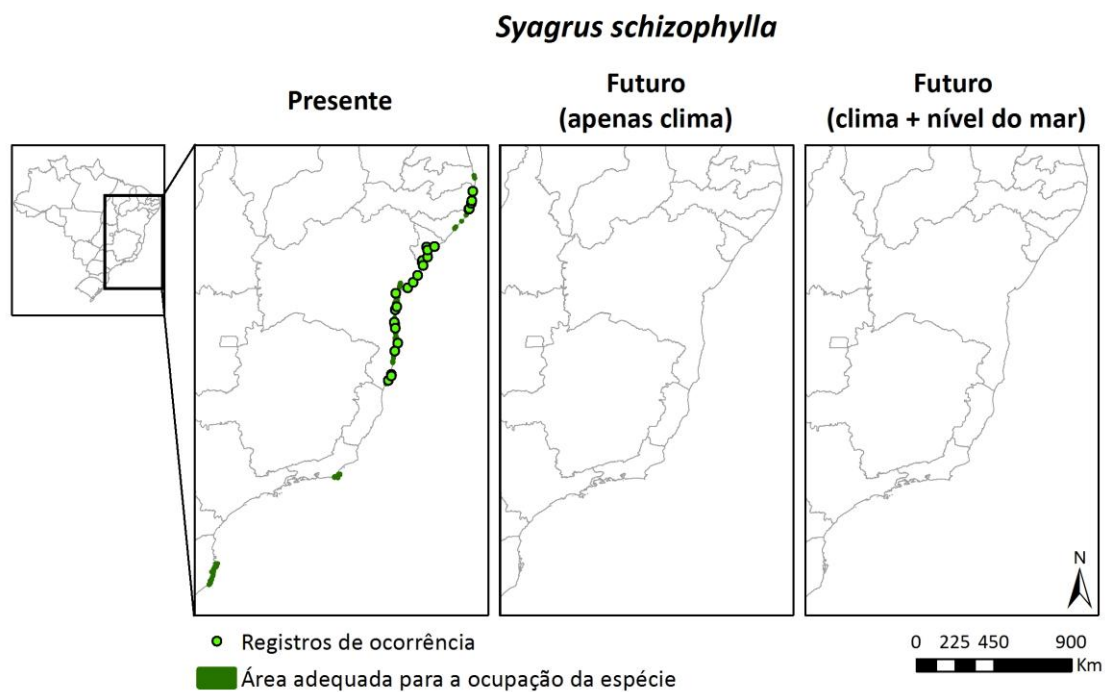


Figura A9. Área adequada para a presença da espécie *Syagrus schizophylla* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Lithothamnus ellipticus

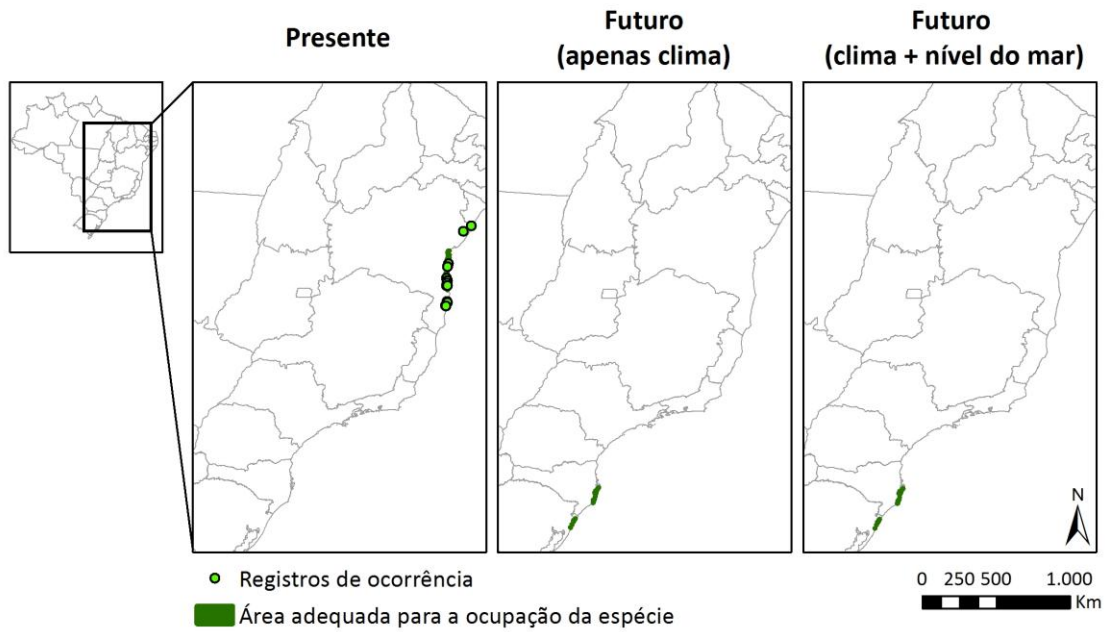


Figura A10. Área adequada para a presença da espécie *Lithothamnus ellipticus* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Cordia pilosa

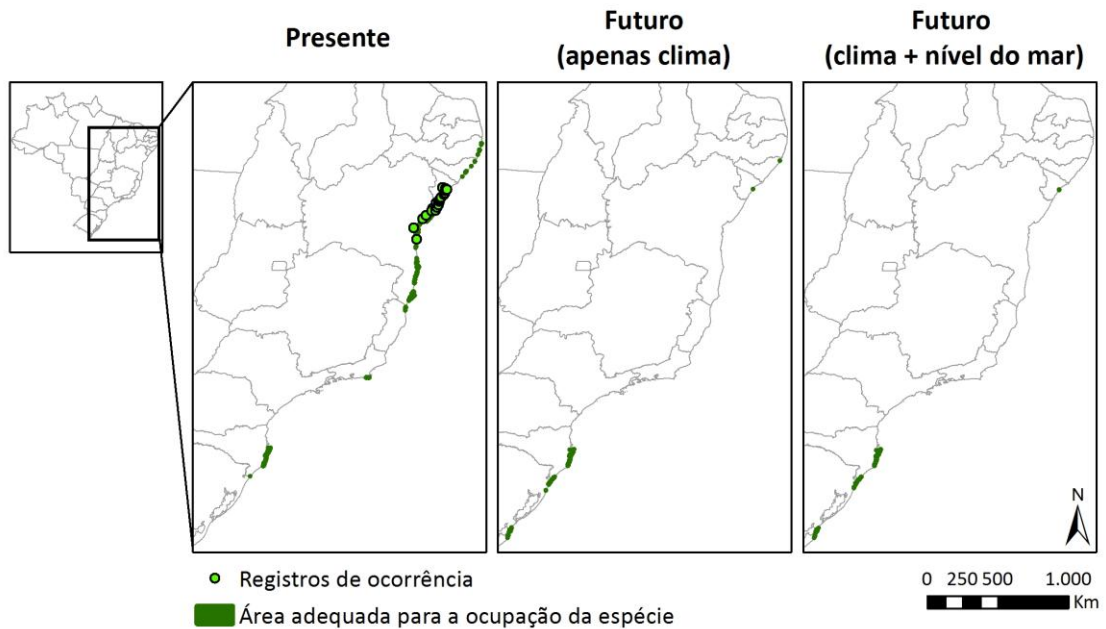


Figura A11. Área adequada para a presença da espécie *Cordia pilosa* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Tetragastris ochionii

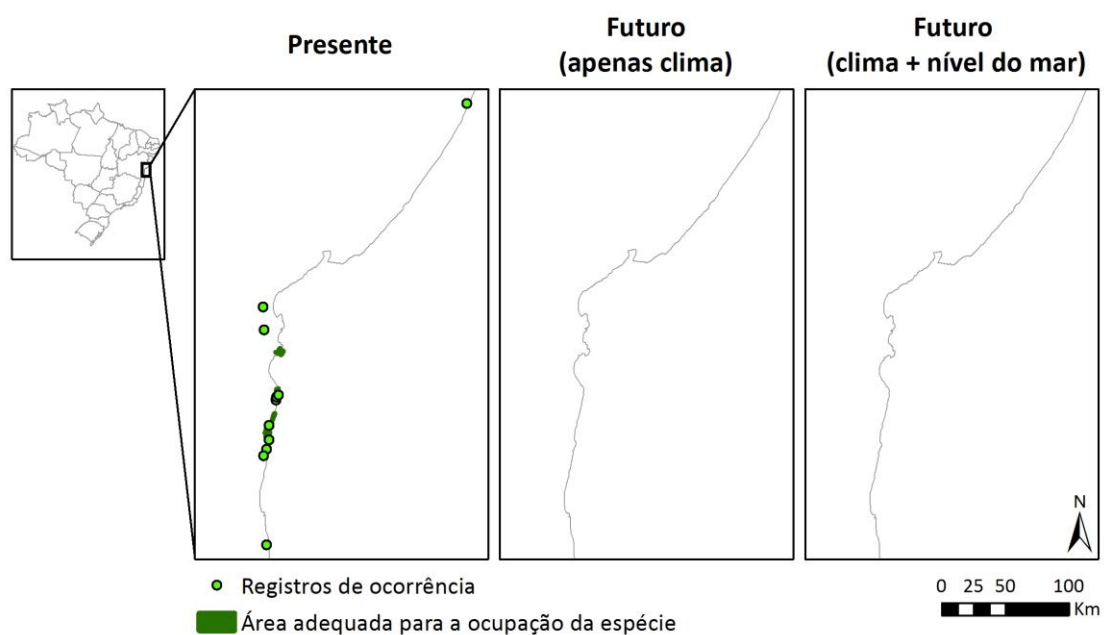


Figura A12. Área adequada para a presença da espécie *Tetragastris ochionii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Kielmeyera elata

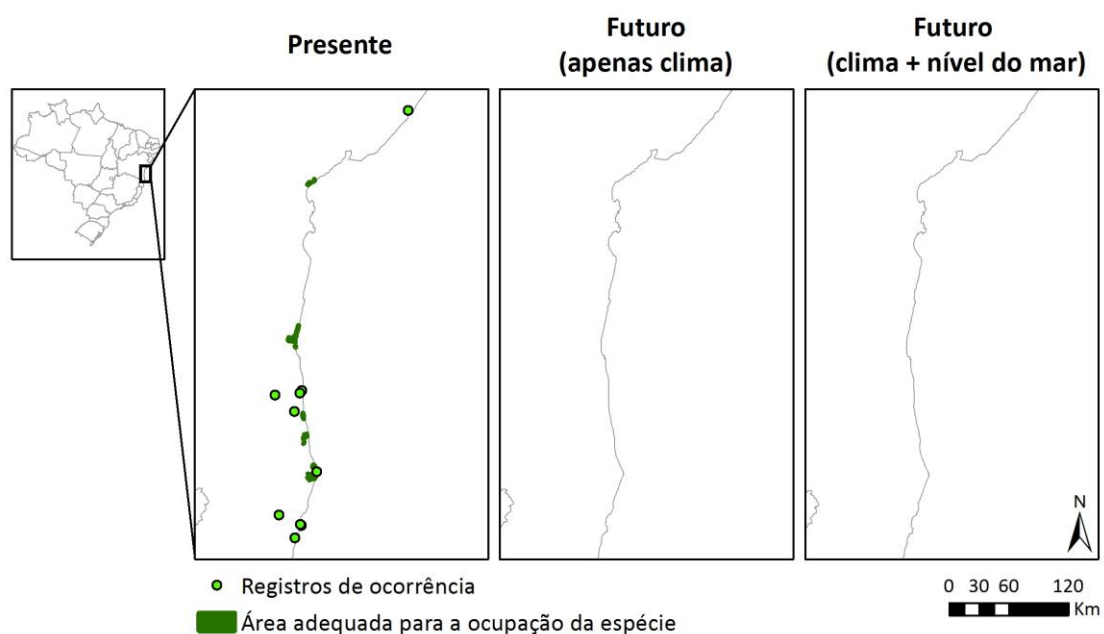


Figura A13. Área adequada para a presença da espécie *Kielmeyera elata* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

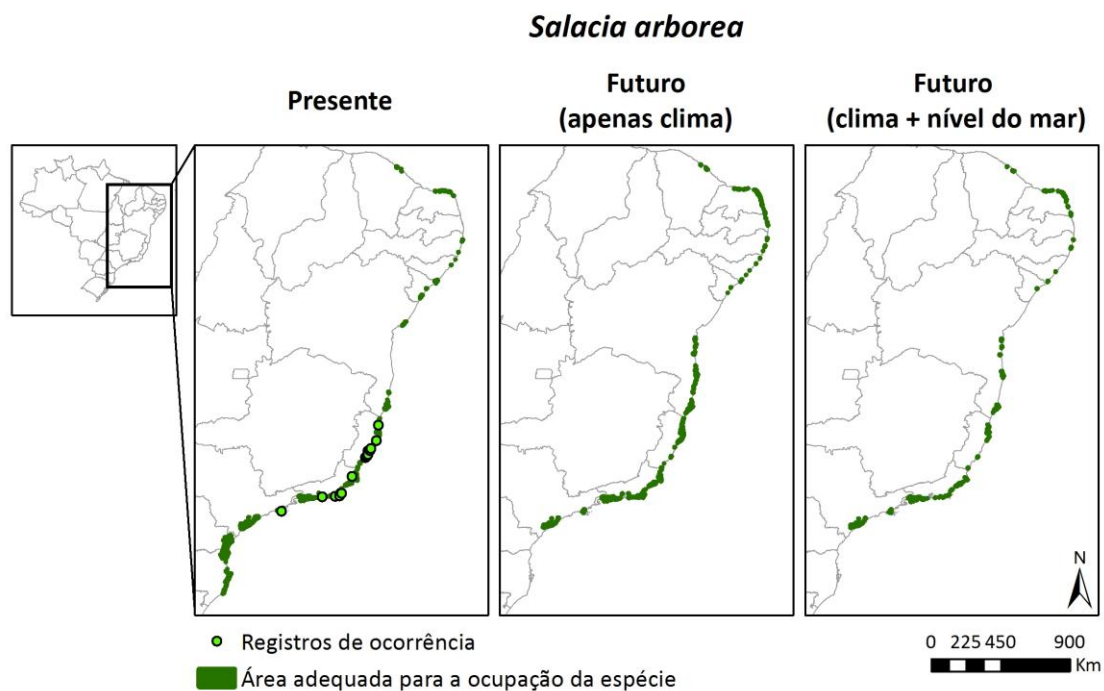


Figura A14. Área adequada para a presença da espécie *Salacia arborea* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

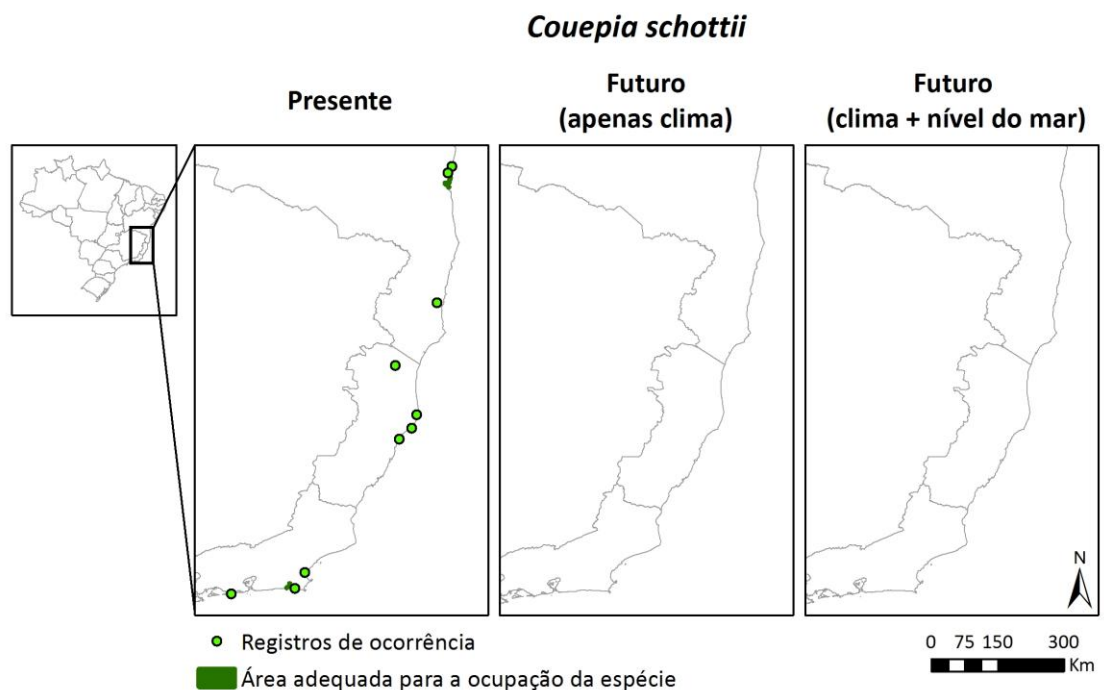


Figura A15. Área adequada para a presença da espécie *Couepia schottii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

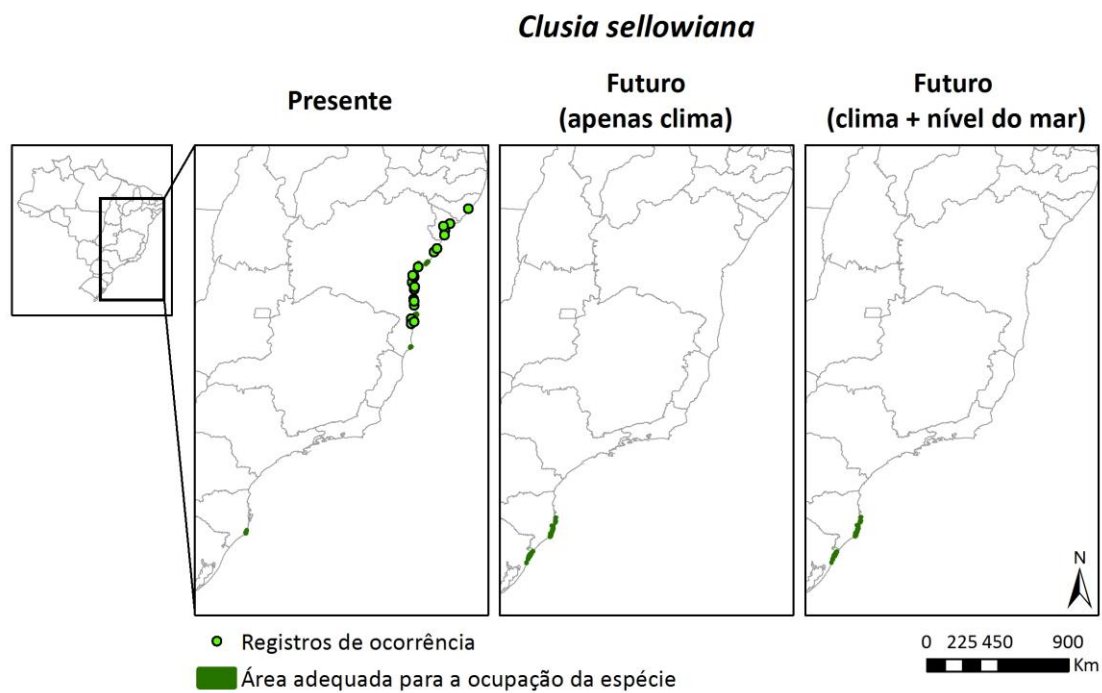


Figura A16. Área adequada para a presença da espécie *Clusia sellowiana* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

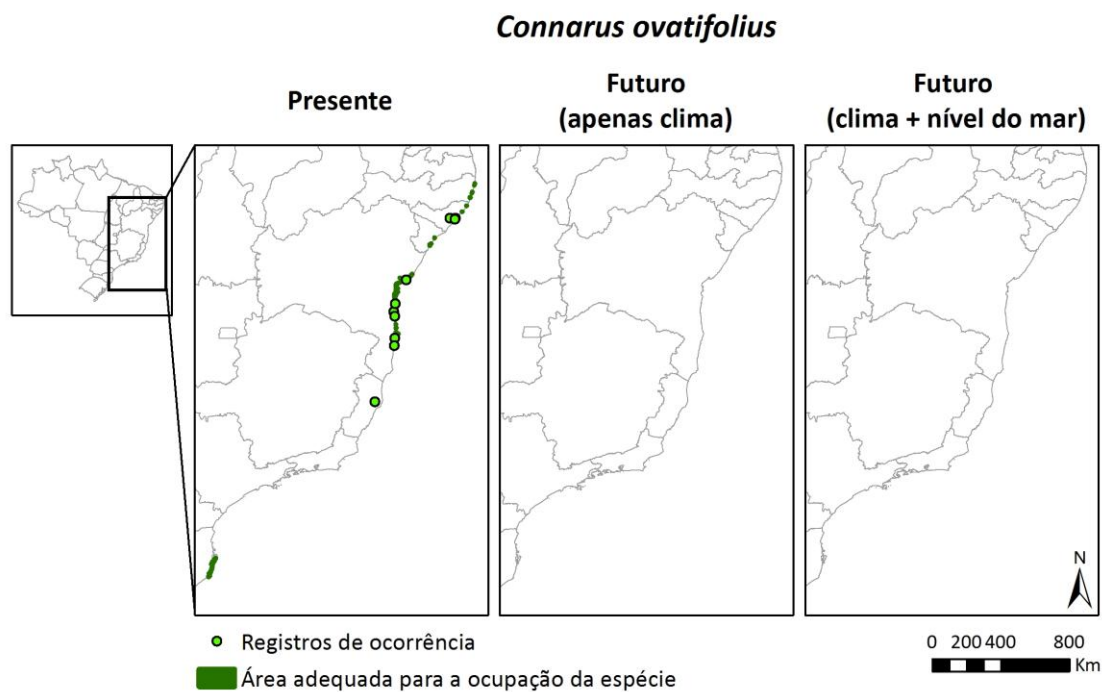


Figura A17. Área adequada para a presença da espécie *Connarus ovatifolius* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Evolvulus maximiliani

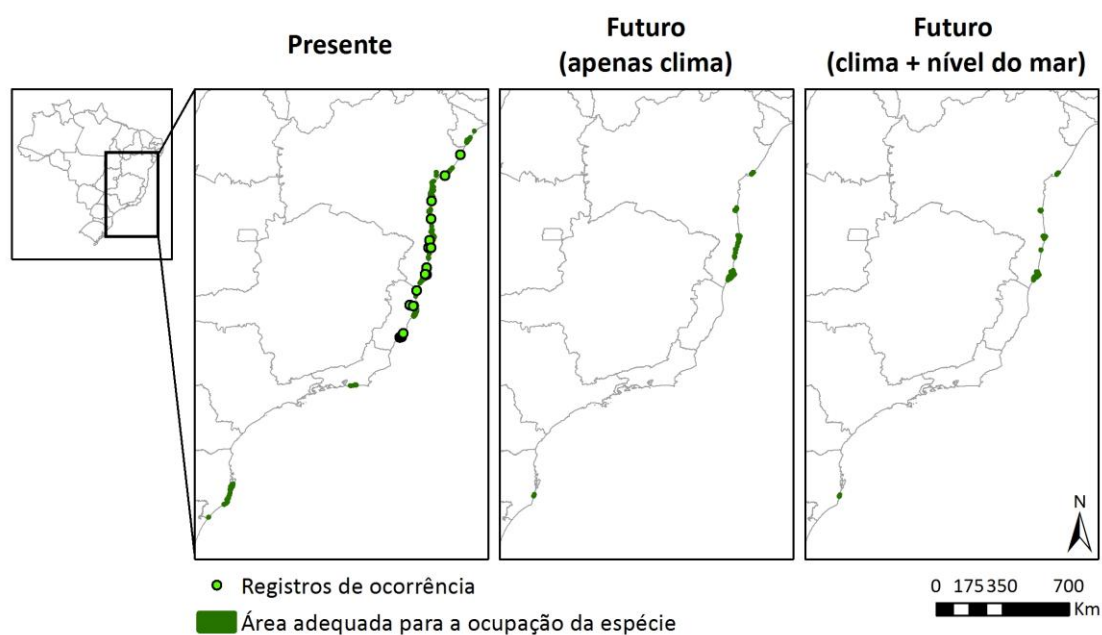


Figura A18. Área adequada para a presença da espécie *Evolvulus maximiliani* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Doliocarpus sellowianus

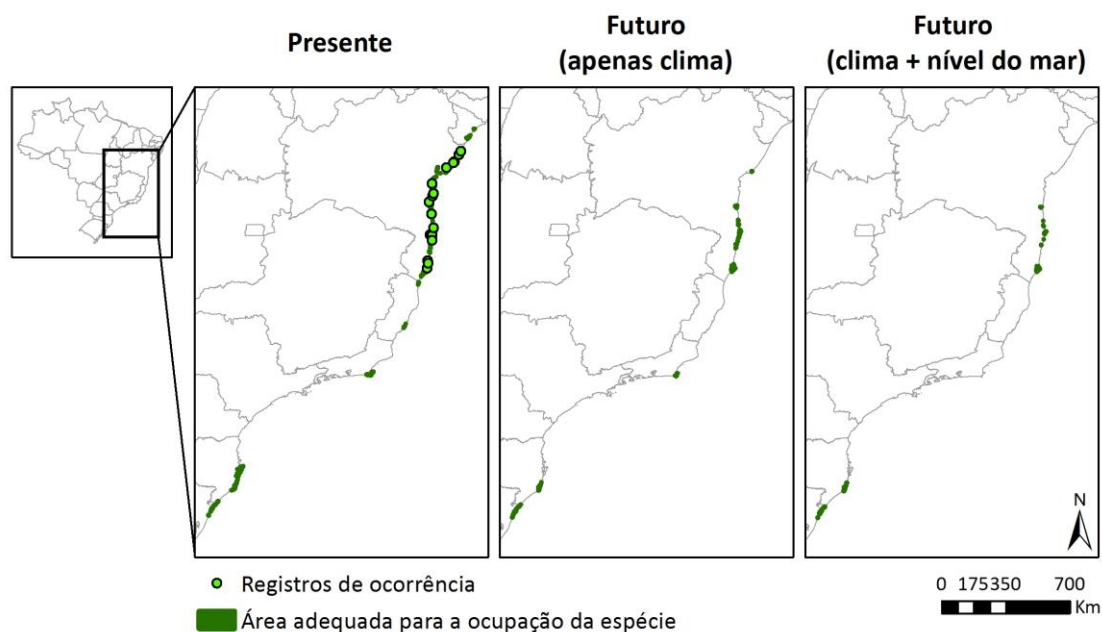


Figura A19. Área adequada para a presença da espécie *Doliocarpus sellowianus* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

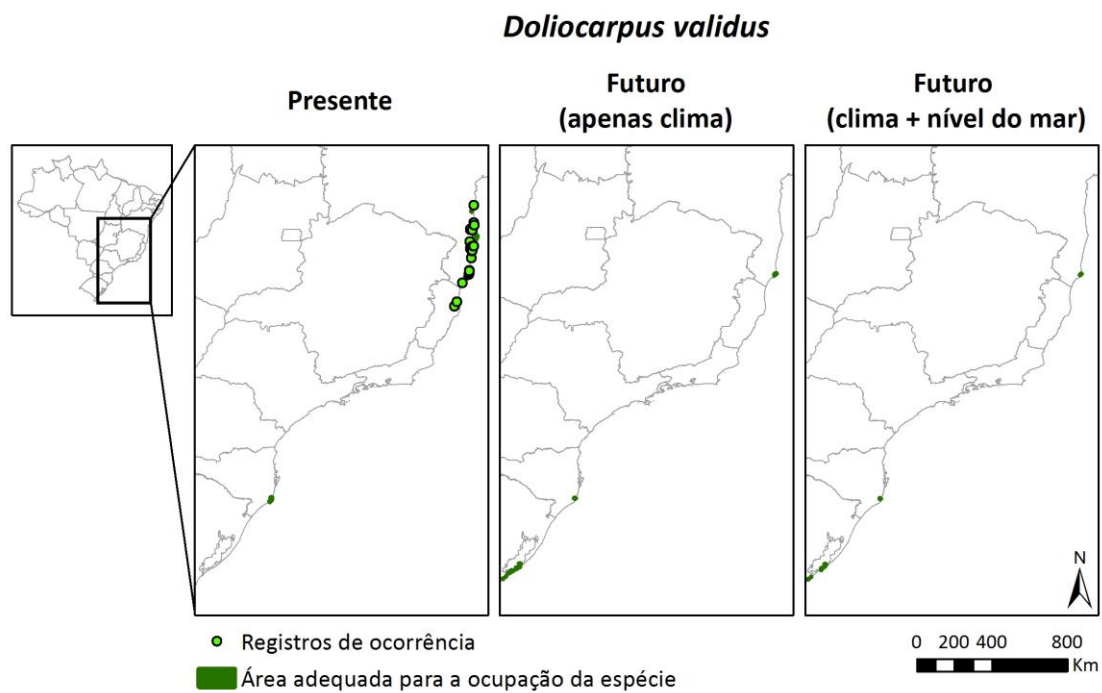


Figura A20. Área adequada para a presença da espécie *Doliocarpus validus* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

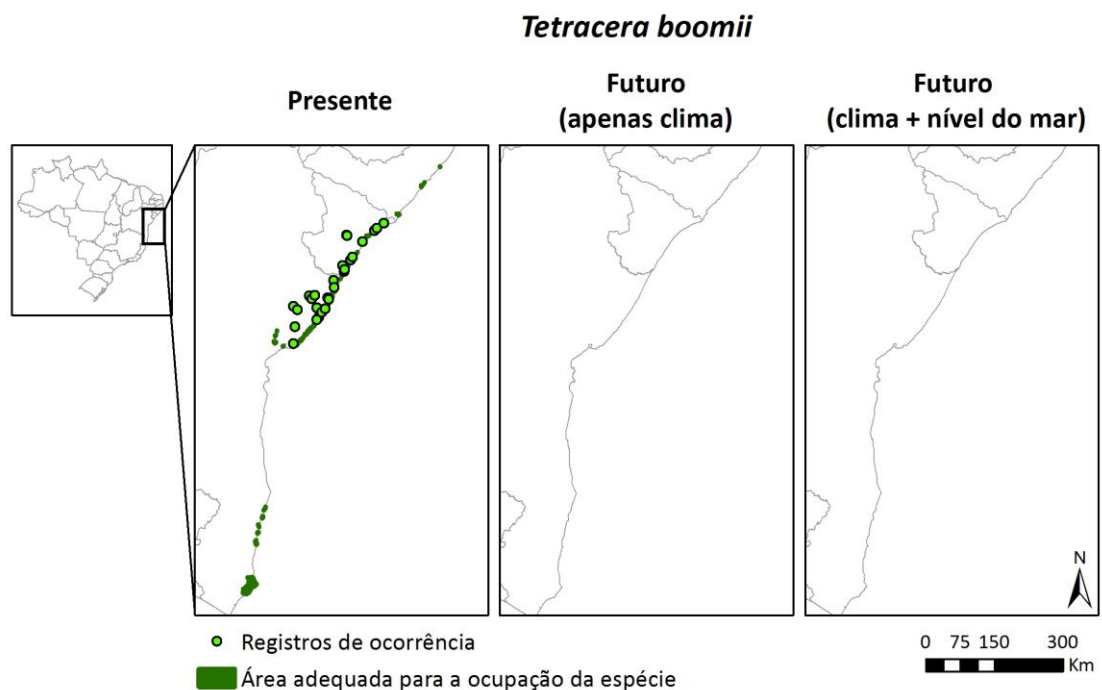


Figura A21. Área adequada para a presença da espécie *Tetracera boomii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

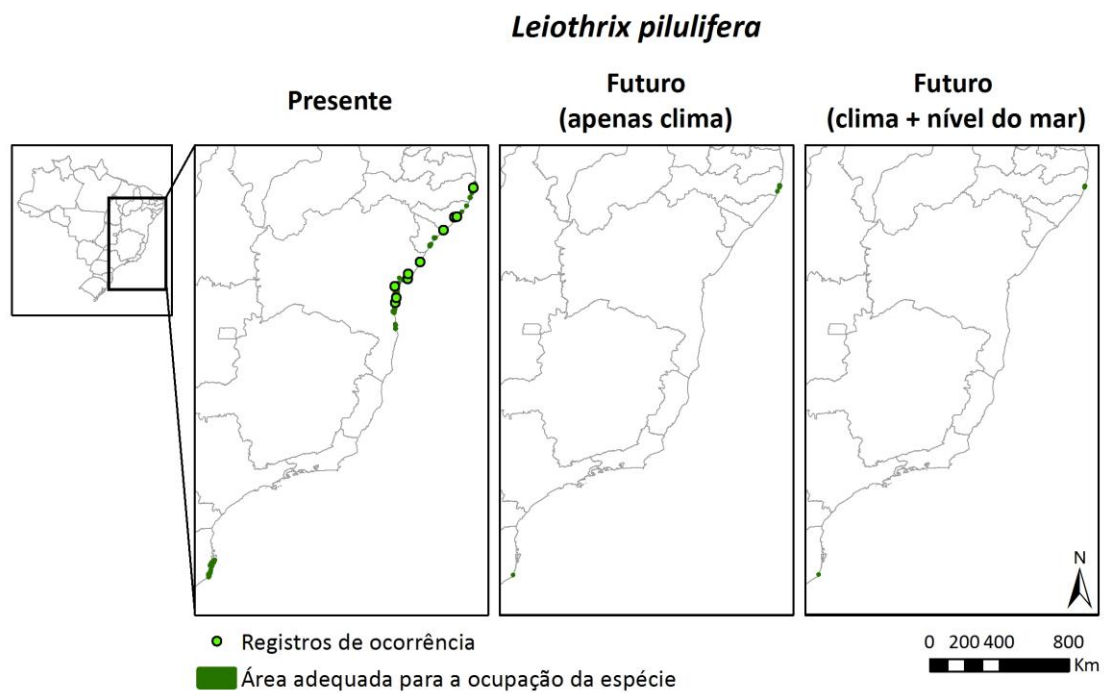


Figura A22. Área adequada para a presença da espécie *Leiothrix pilulifera* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

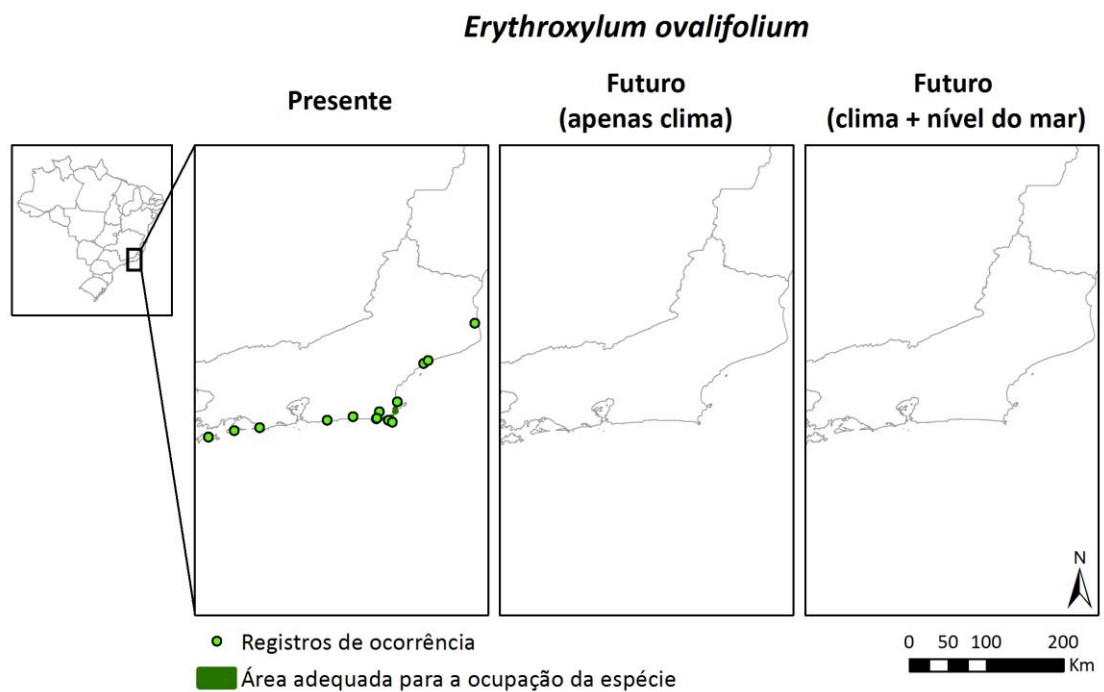


Figura A23. Área adequada para a presença da espécie *Erythroxylum ovalifolium* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

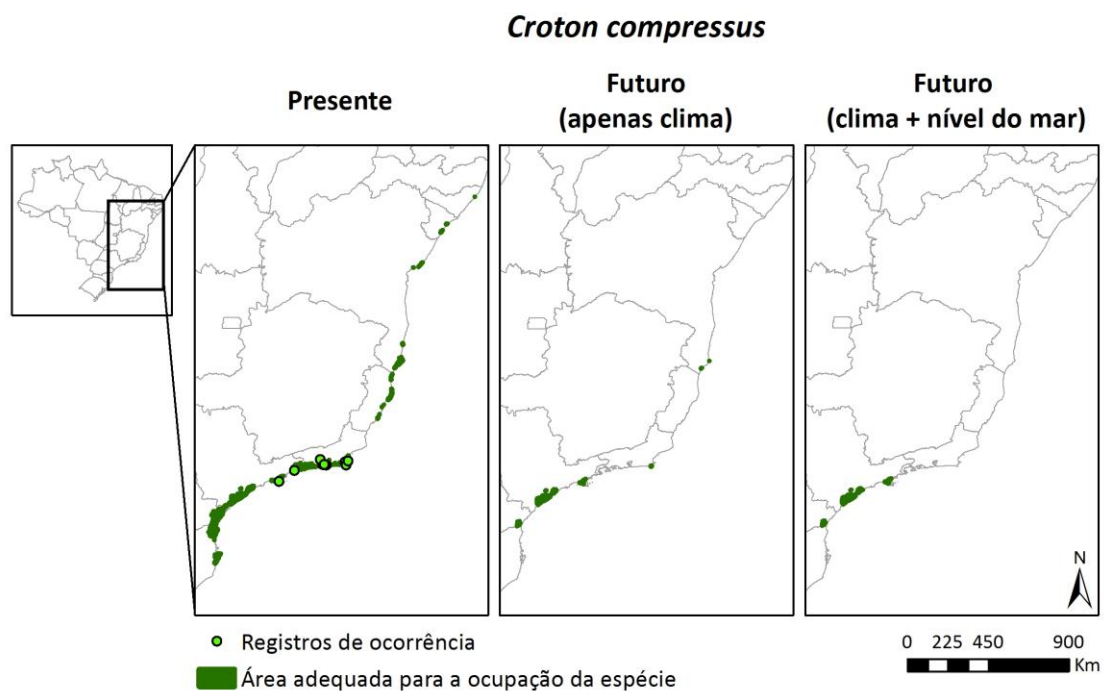


Figura A24. Área adequada para a presença da espécie *Croton compressus* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

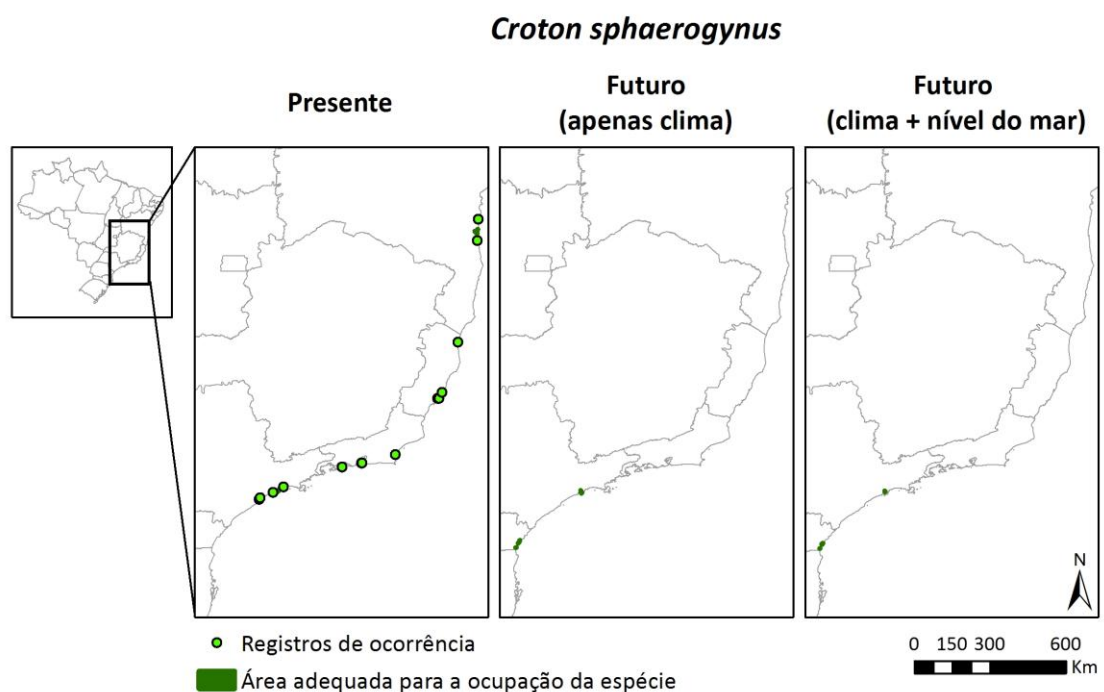


Figura A25. Área adequada para a presença da espécie *Croton sphaerogynus* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

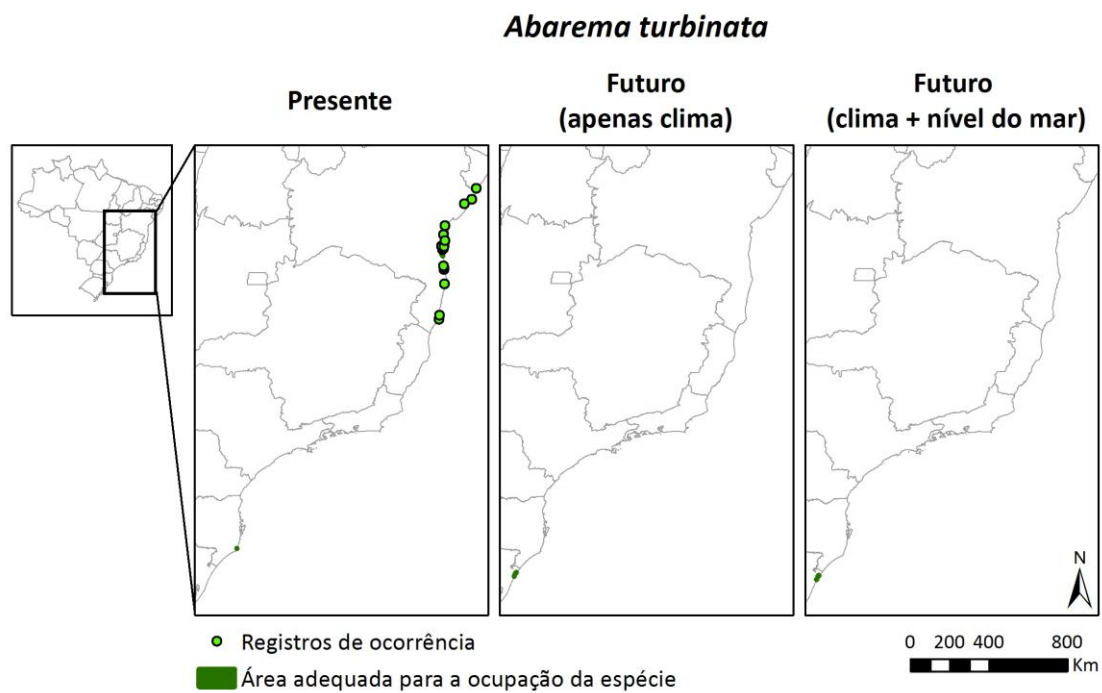


Figura A26. Área adequada para a presença da espécie *Abarema turbinata* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

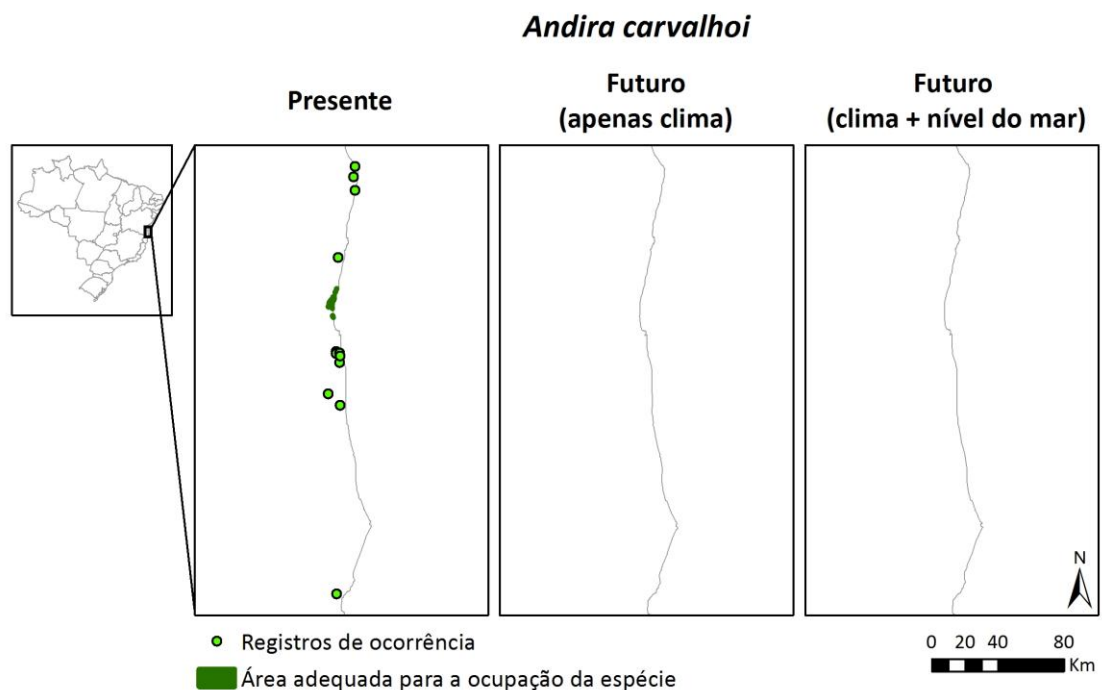


Figura A27. Área adequada para a presença da espécie *Andira carvalhoi* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Brodriguesia santosii

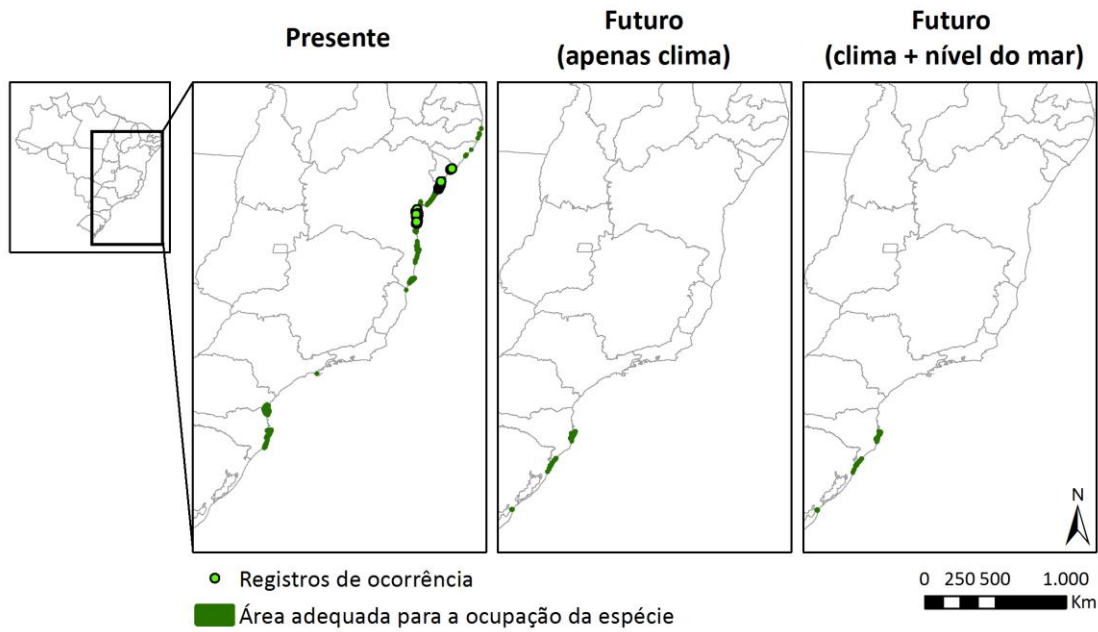


Figura A28. Área adequada para a presença da espécie *Brodriguesia santosii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Inga maritima

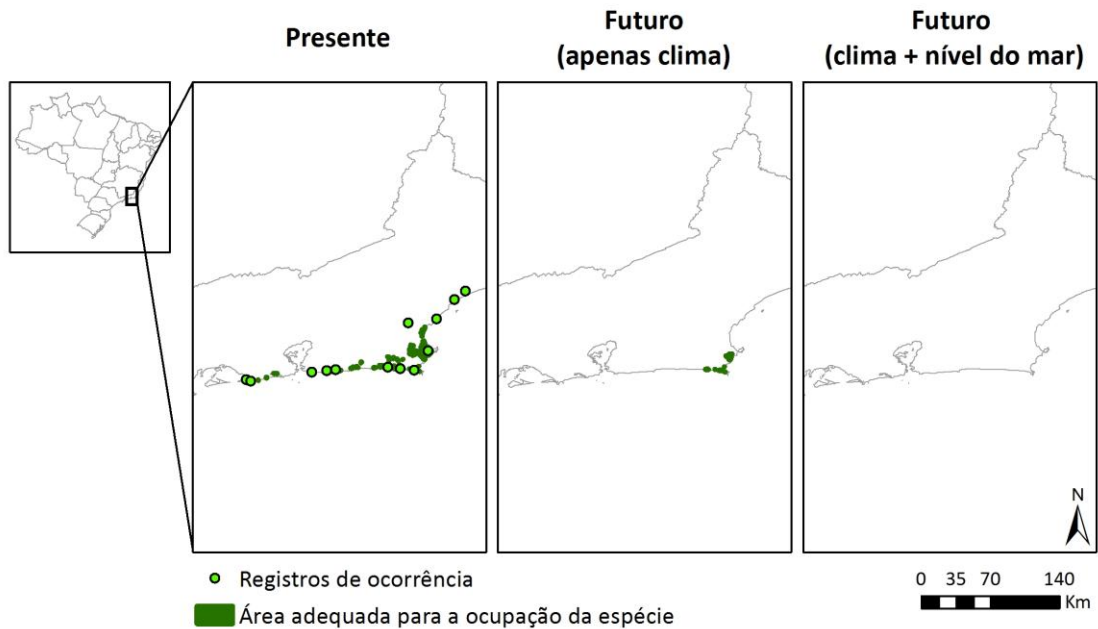


Figura A29. Área adequada para a presença da espécie *Inga maritima* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

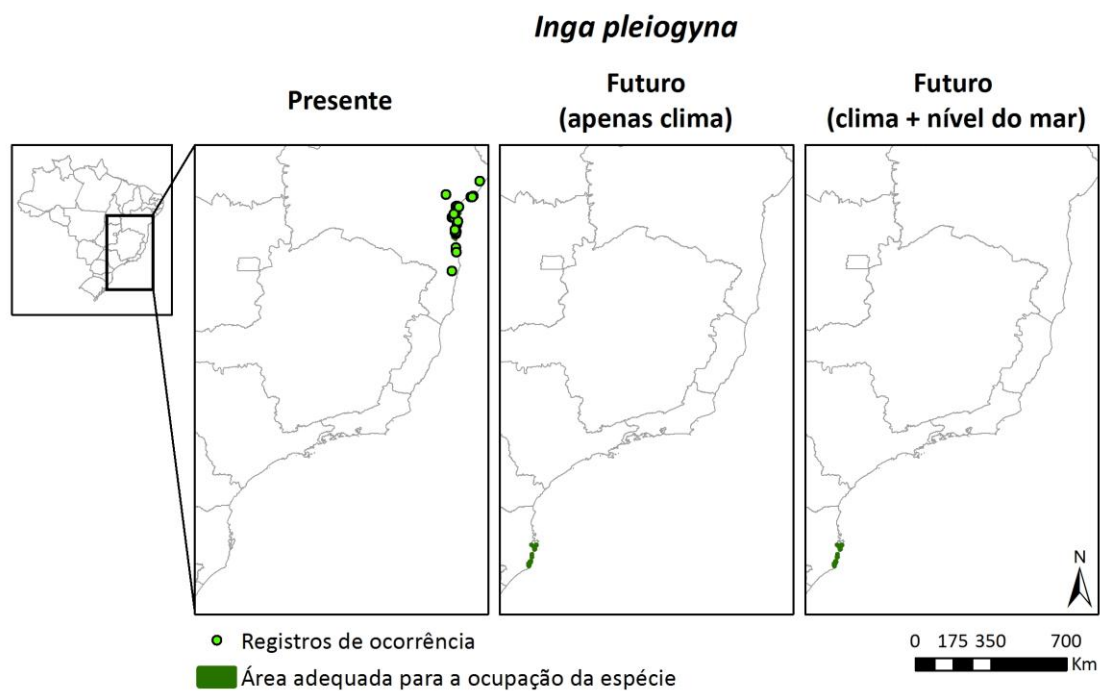


Figura A30. Área adequada para a presença da espécie *Inga pleiogyne* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

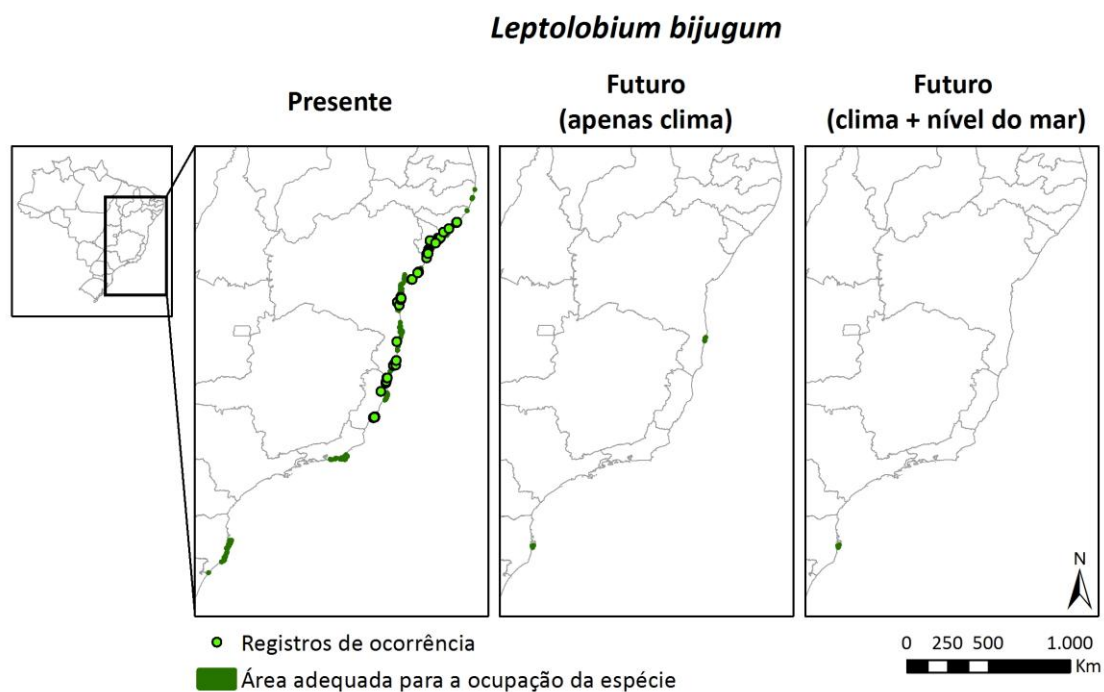


Figura A31. Área adequada para a presença da espécie *Leptolobium bijugum* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Macrolobium rigidum

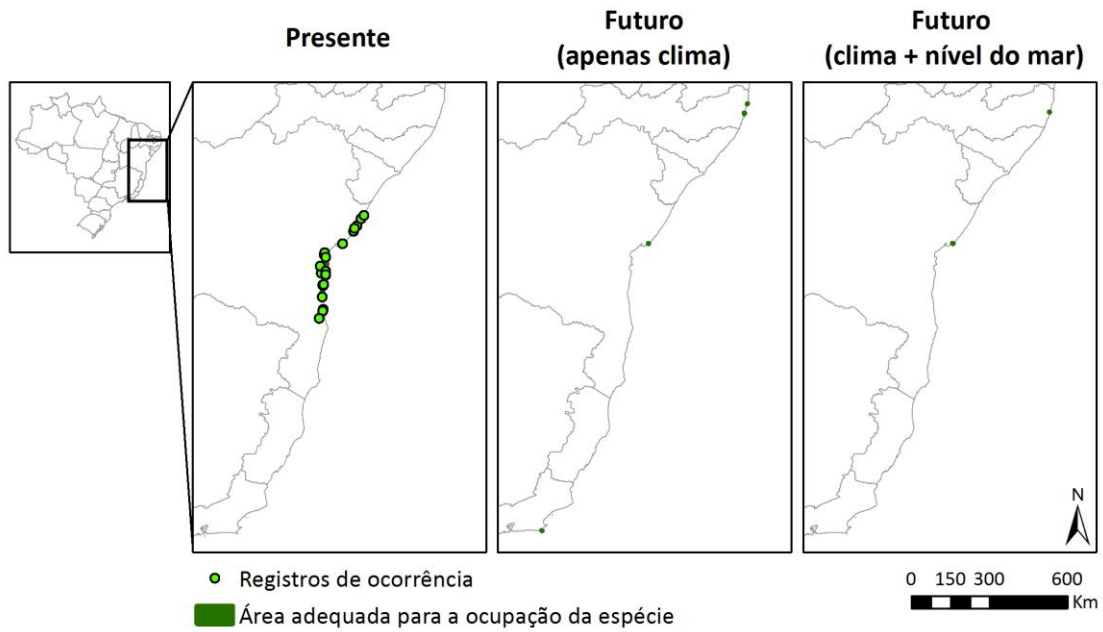


Figura A32. Área adequada para a presença da espécie *Macrolobium rigidum* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Moldenhawera blanchetiana

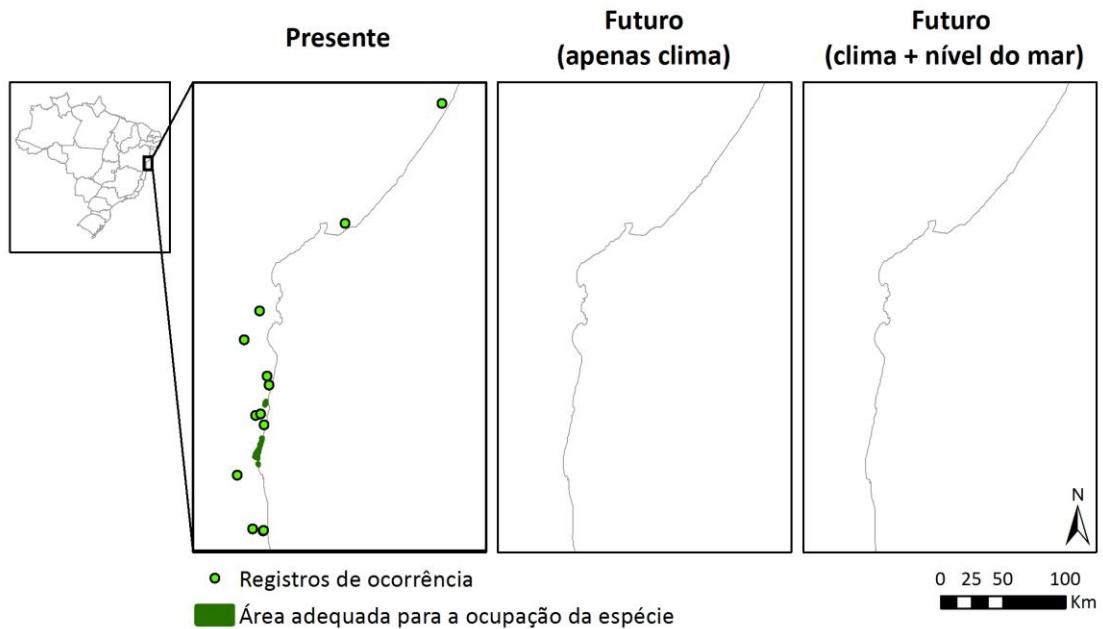


Figura A33. Área adequada para a presença da espécie *Moldenhawera blanchetiana* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Moldenhawera nutans

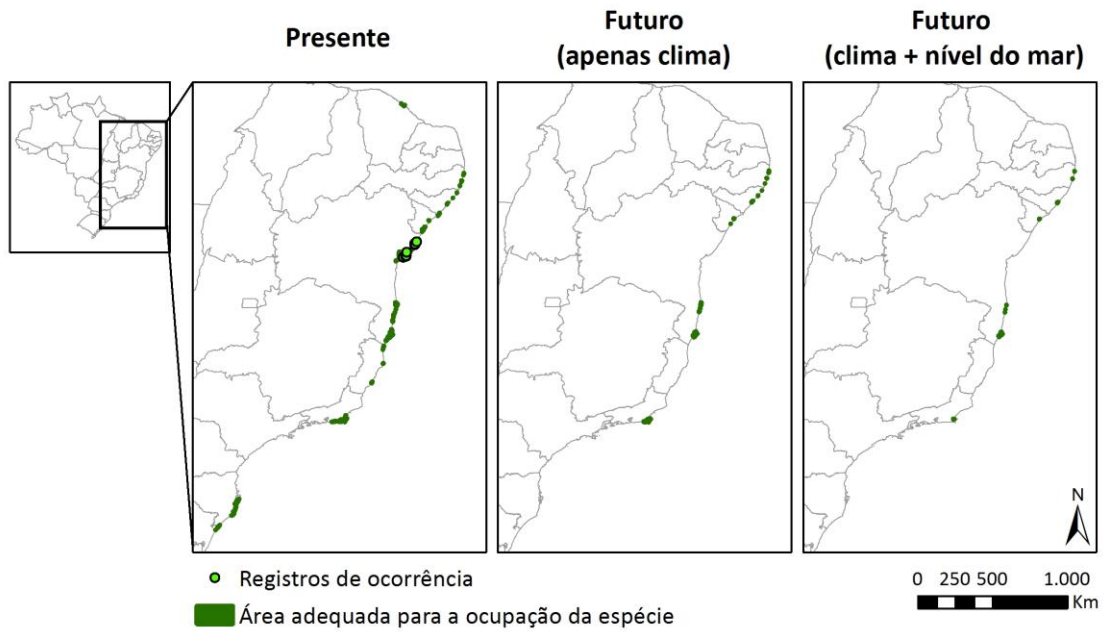


Figura A34. Área adequada para a presença da espécie *Moldenhawera nutans* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Parkia bahiae

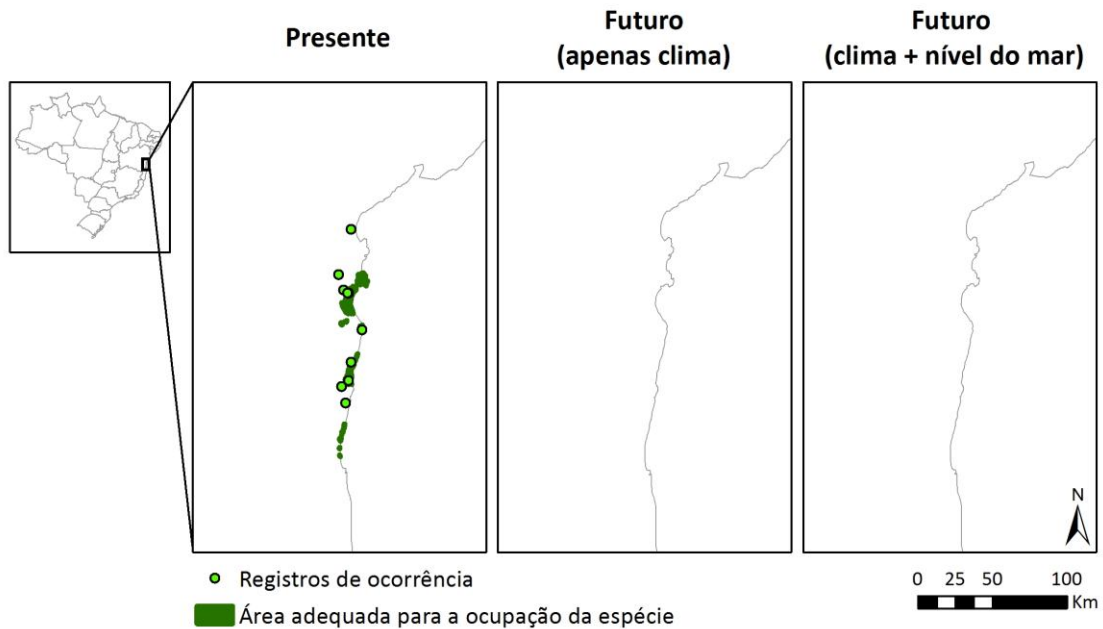


Figura A35. Área adequada para a presença da espécie *Parkia bahiae* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

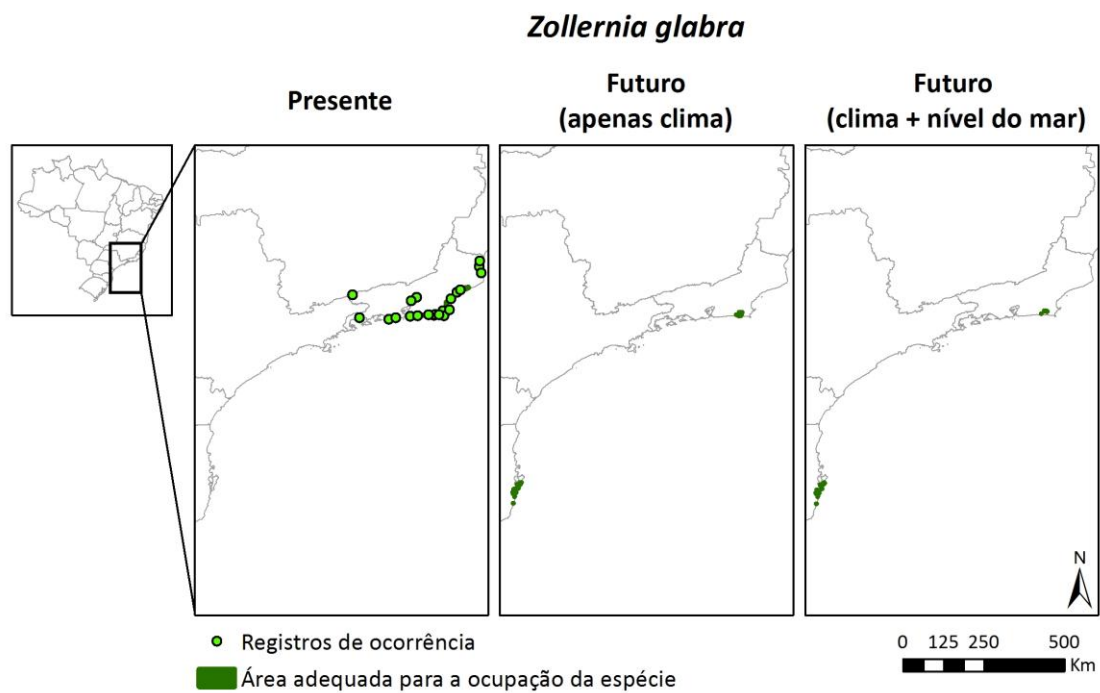


Figura A36. Área adequada para a presença da espécie *Zollernia glabra* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

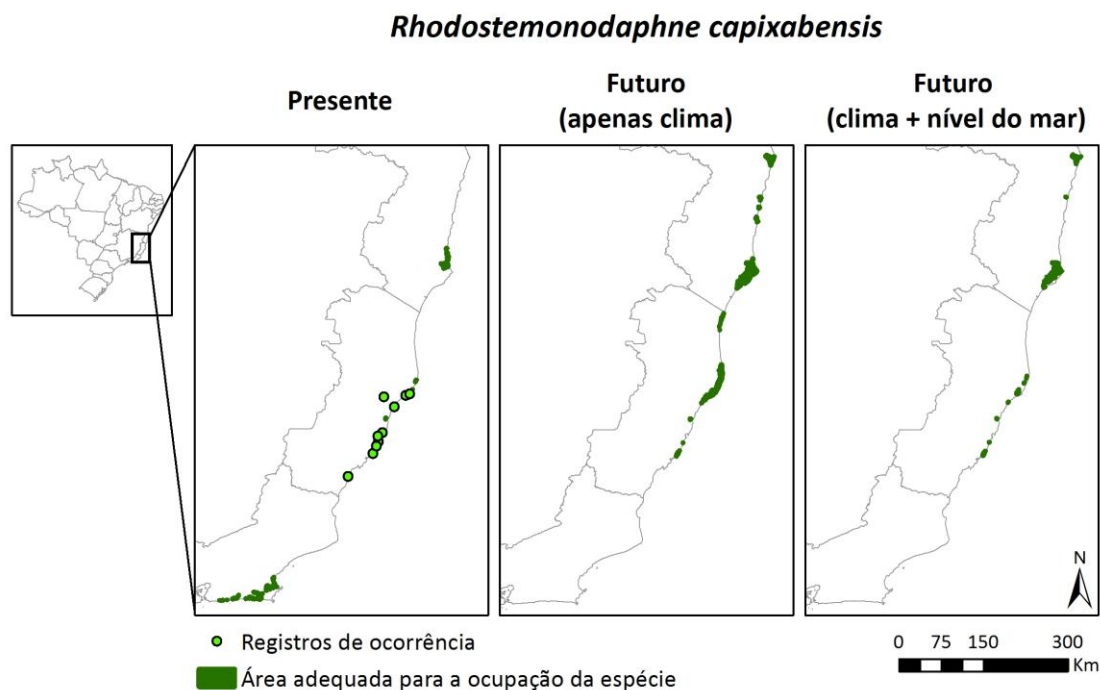


Figura A37. Área adequada para a presença da espécie *Rhodostemonodaphne capixabensis* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

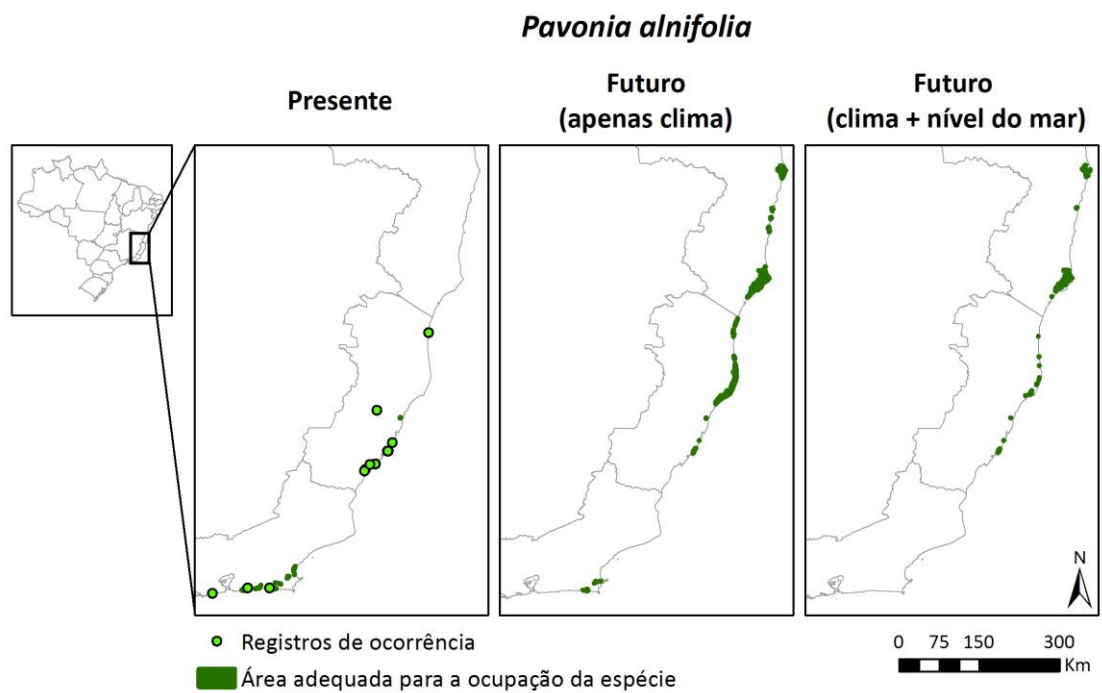


Figura A38. Área adequada para a presença da espécie *Pavonia alnifolia* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

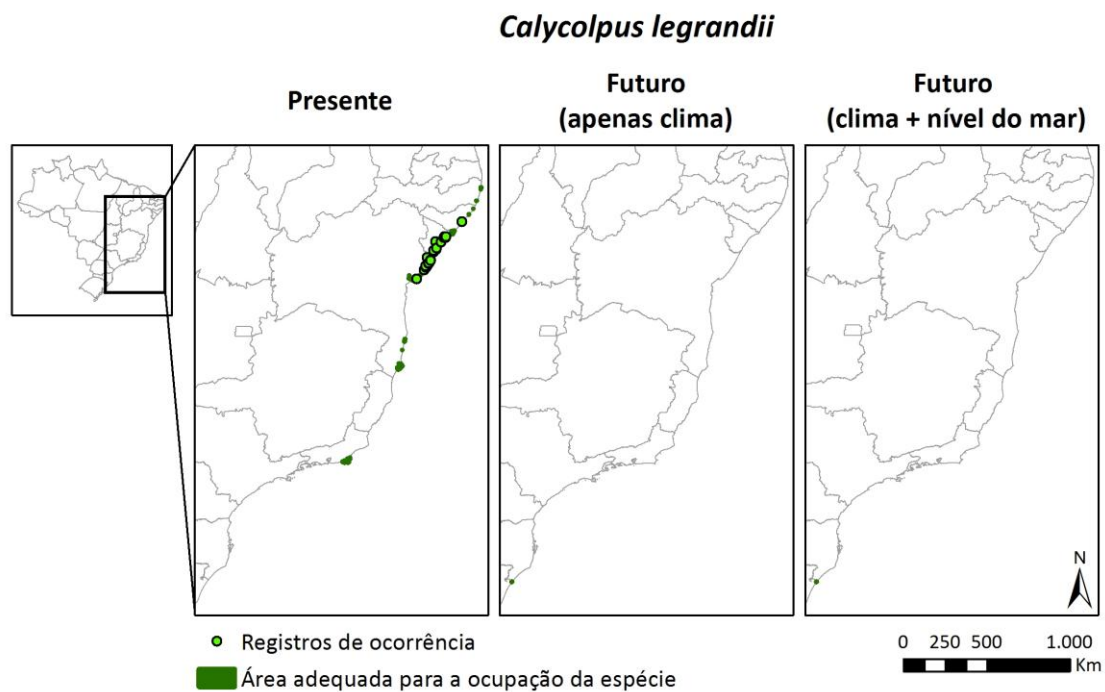


Figura A39. Área adequada para a presença da espécie *Calycolpus legrandii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

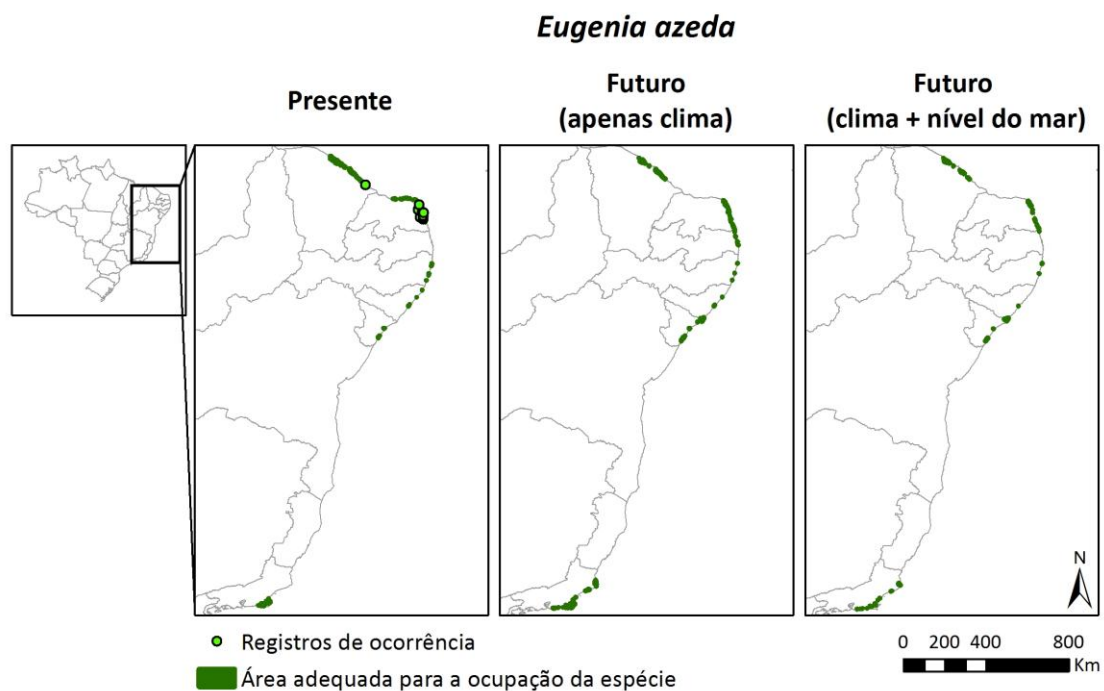


Figura A40. Área adequada para a presença da espécie *Eugenia azeda* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

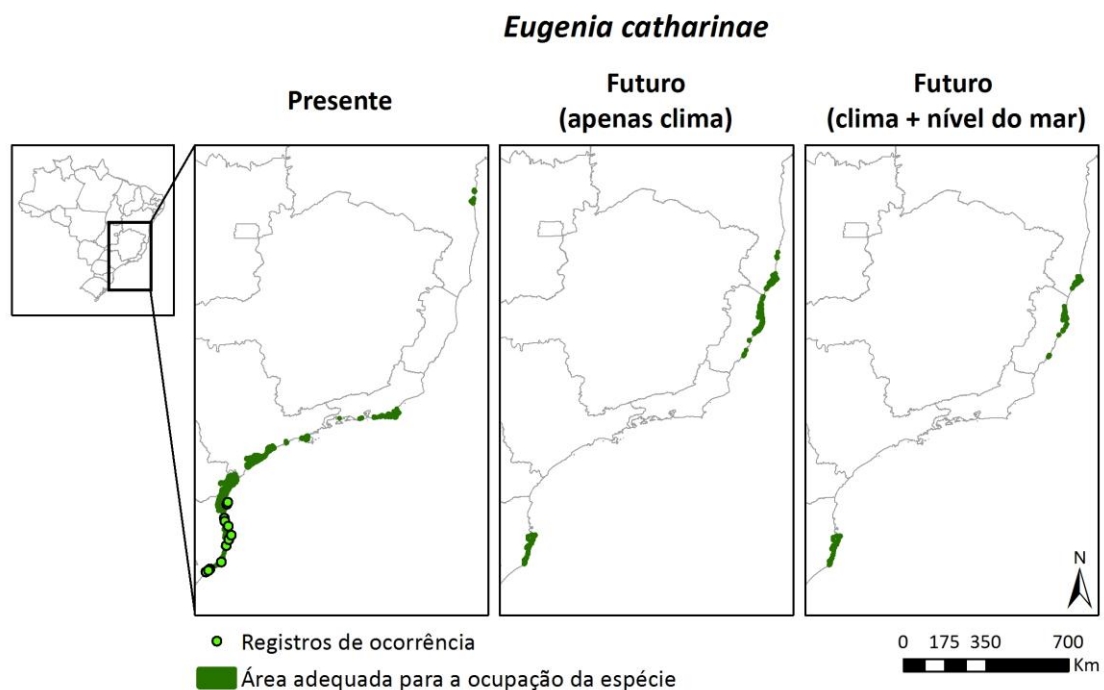


Figura A41. Área adequada para a presença da espécie *Eugenia catharinae* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Neomitranthes obtusa

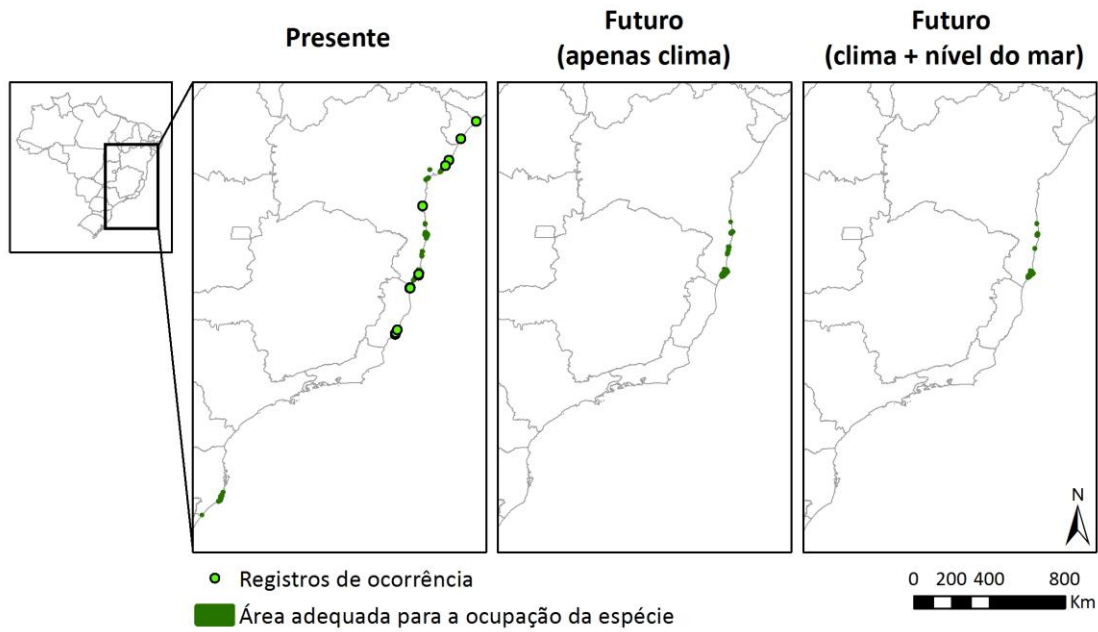


Figura A42. Área adequada para a presença da espécie *Neomitranthes obtusa* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Ouratea crassa

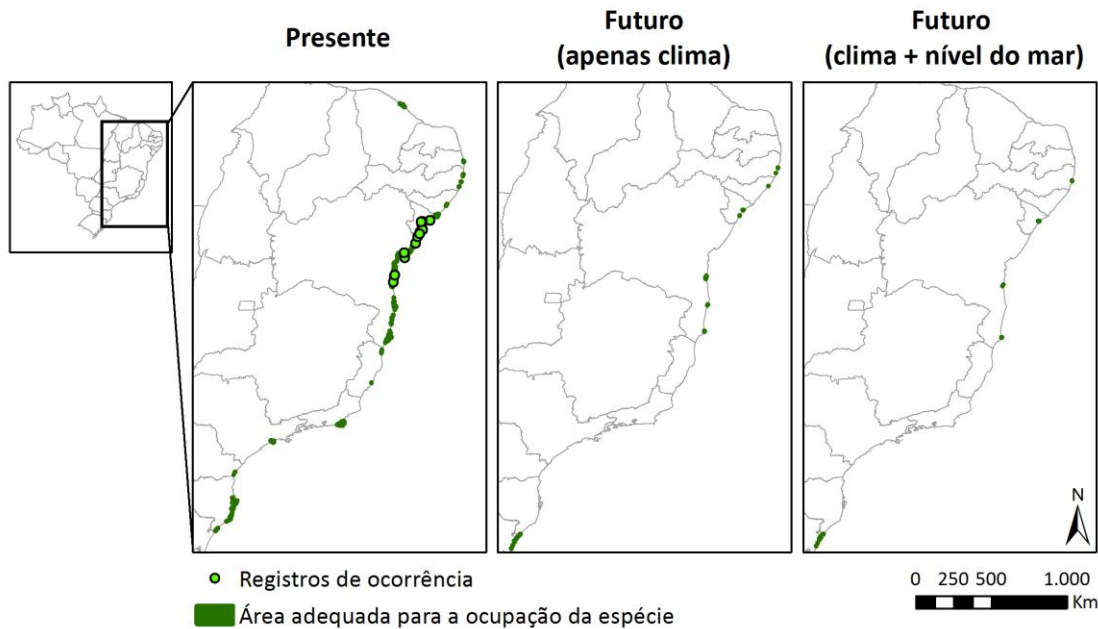


Figura A43. Área adequada para a presença da espécie *Ouratea crassa* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Chiococca plowmanii

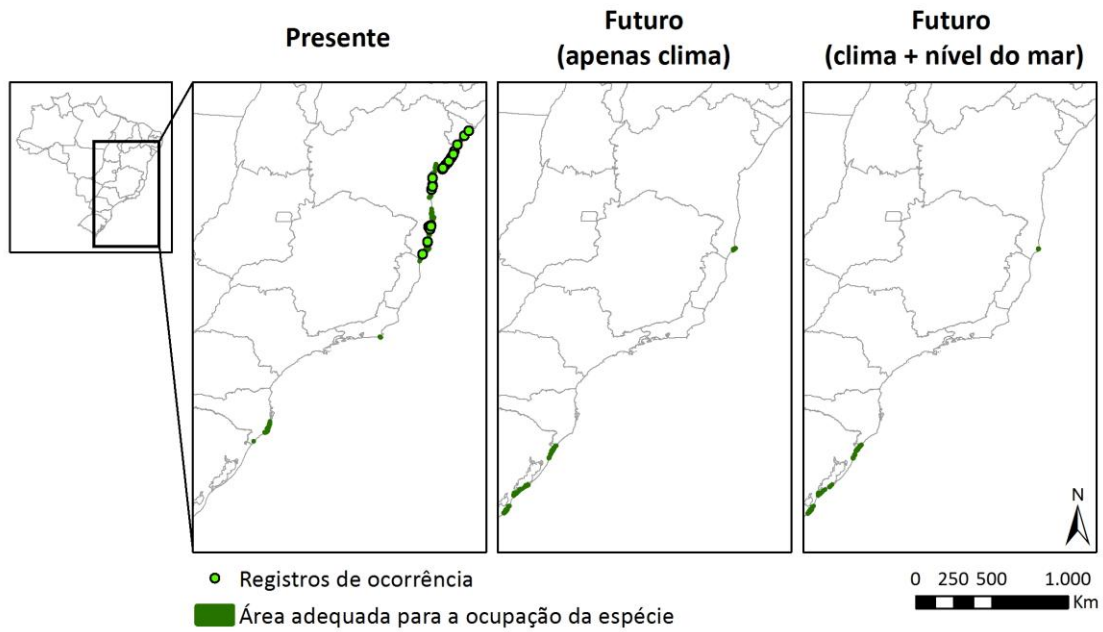


Figura A44. Área adequada para a presença da espécie *Chiococca plowmanii* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Malanea harleyi

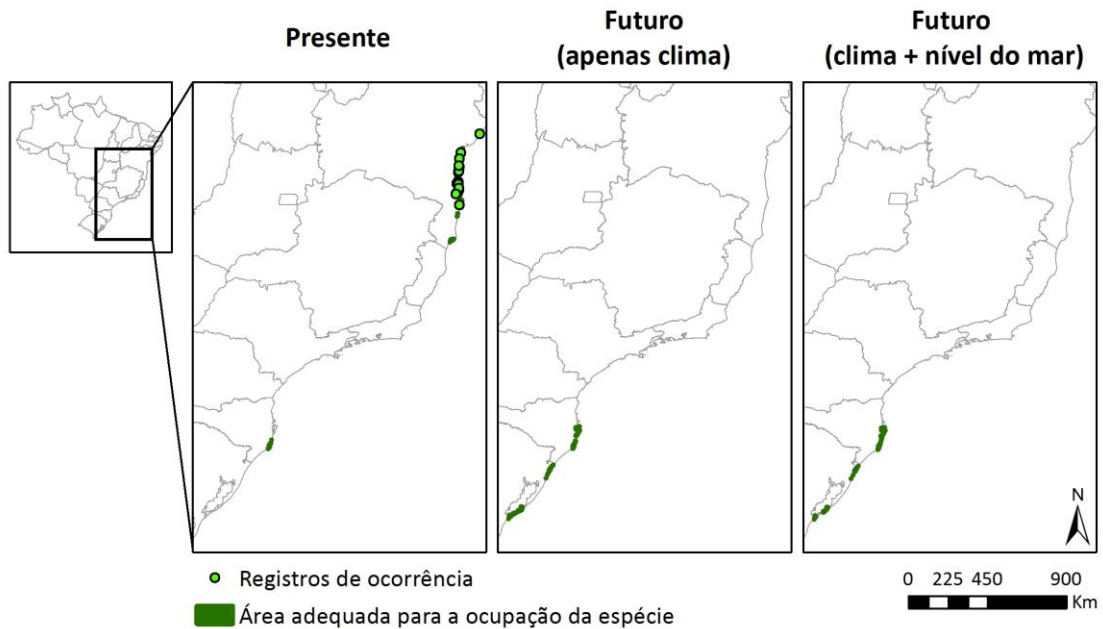


Figura A45. Área adequada para a presença da espécie *Malanea harleyi* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Mitracarpus eichleri

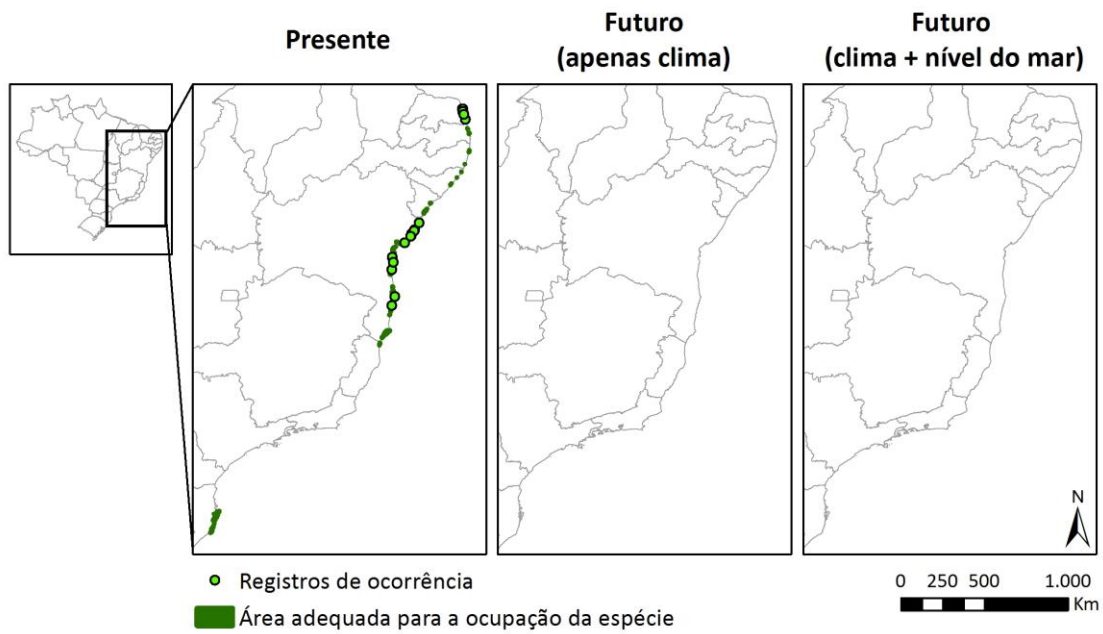


Figura A46. Área adequada para a presença da espécie *Mitracarpus eichleri* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Pagamea harleyi

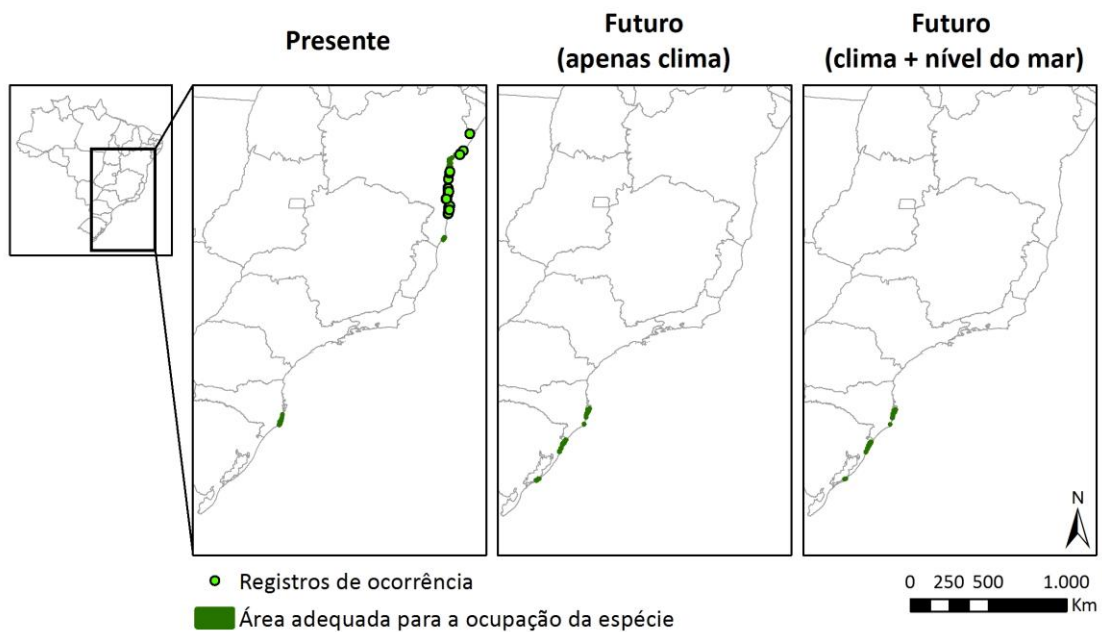


Figura A47. Área adequada para a presença da espécie *Pagamea harleyi* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Manilkara decrescens

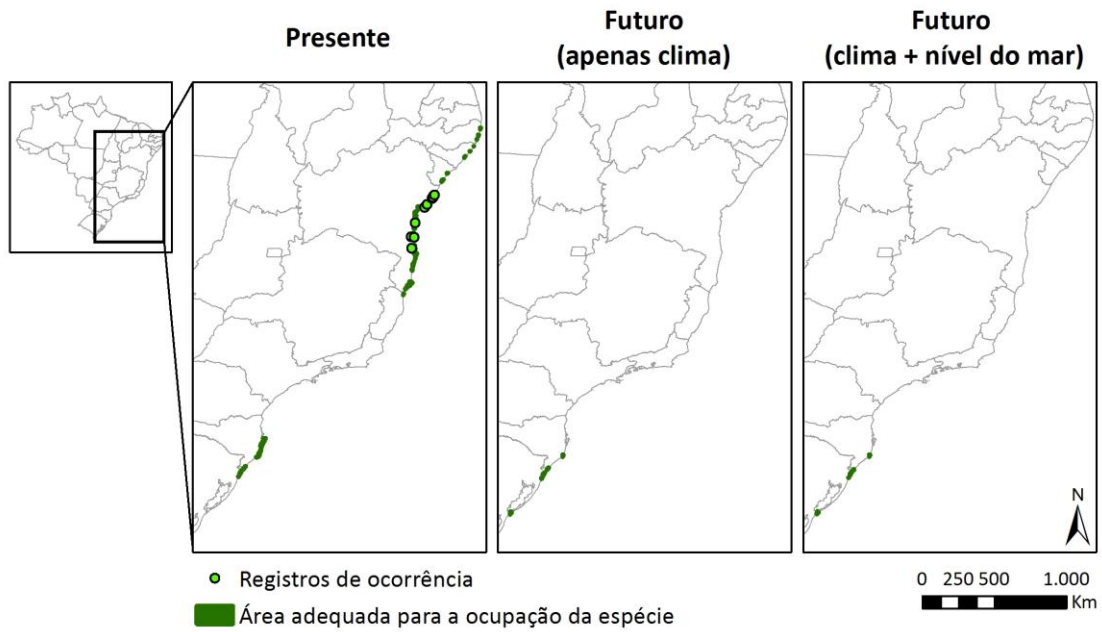


Figura A48. Área adequada para a presença da espécie *Manilkara decrescens* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.

Pouteria macahensis

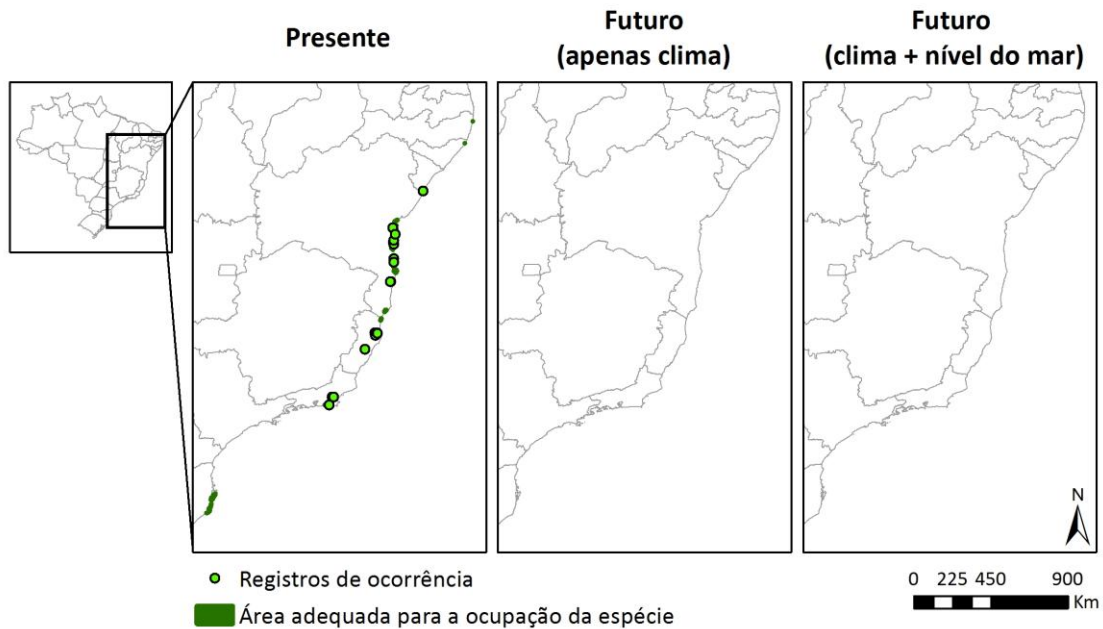


Figura A49. Área adequada para a presença da espécie *Pouteria macahensis* no presente, no futuro, considerando somente o clima e, o clima mais o nível do mar, ao longo da costa brasileira.