



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS  
Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado

ÉRICA DINIZ FERREIRA

**INFLUÊNCIA DE PLANTAS HOSPEDEIRAS NA DISTRIBUIÇÃO  
GEOGRÁFICA POTENCIAL DE *Constrictotermes cyphergaster*  
(INSECTA: ISOPTERA) EM UM CENÁRIO DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS**

**Anápolis  
Fevereiro 2015**

Ferreira, Érica Diniz.

Influência de plantas hospedeiras na distribuição geográfica potencial de *Constrictotermes cyphergaster* (Insecta: Isoptera) em um cenário de mudanças climáticas. – 2015.

39 folhas. 18 figuras.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Héliida Ferreira da Cunha.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, 2015.

1. *Constrictotermes cyphergaster* 2. Nicho ecológico 3. Interação cupim-planta. I. Título.

ÉRICA DINIZ FERREIRA

**INFLUÊNCIA DE PLANTAS HOSPEDEIRAS NA DISTRIBUIÇÃO  
GEOGRÁFICA POTENCIAL DE *Constrictotermes cyphergaster* (INSECTA:  
ISOPTERA) EM UM CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Héli da Ferreira da Cunha

Anápolis  
Fevereiro 2015

*A minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela minha vida e por mais essa vitória.

A minha família pelo apoio, paciência e compreensão durante este período árduo de trabalho. Em especial a minha mãe Irení, que cuidava tão bem do meu pequeno enquanto eu desenvolvia esta tese.

Ao meu marido Márcio pelo incentivo, carinho e paciência. A meu filho Pedro Miguel, que mesmo sem saber, me incentivava com seus abraços fortes e carinhosos.

A professora e orientadora Héliida Ferreira da Cunha por ter aceitado me acompanhar nesta trajetória, sempre com muita dedicação, paciência e valiosas discussões que contribuíram muito para aprimorar meu conhecimento.

Ao professor João Carlos Nabout pelas valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado (RENAC) pela imensa contribuição em minha formação acadêmica. E não poderia esquecer, da Nina, secretária do RENAC, sempre tão disposta a nos ajudar e nos atendendo com carinho e dedicação.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa de estudo concedida durante a realização do mestrado. A CAPES (Auxpe 2036/2013) por ter auxiliado parcialmente este trabalho.

Aos meus colegas do mestrado, pela convivência durante este período. Em especial a Cássia e a Elaine que sempre me deram forças para persistir e também pelos momentos de descontração.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

Resumo .....	06
Abstract .....	07
Introdução .....	08
Objetivos .....	12
Metodologia .....	13
Resultados .....	19
Discussão .....	29
Conclusão .....	32
Referências bibliográficas.....	33

## RESUMO

É importante conhecer a distribuição das espécies e a sua interação com diversos fatores, sendo eles, bióticos, abióticos, capacidade de dispersão e de evolução principalmente em estudos envolvendo o nicho ecológico. Nesse contexto, o clima desempenha um papel importante, além de ser o fator mais utilizado em estudos de modelos de nichos. Esses modelos são usados para prever a área de ocorrência de uma espécie ao longo do espaço geográfico através de técnicas estatísticas e computacionais. Eles são baseados no pressuposto de que se uma espécie pode ser encontrada em certas condições climáticas, então ela deve ser capaz de sobreviver e se reproduzir em todas as áreas com as mesmas condições. Entretanto, as interações bióticas também podem ser importantes na distribuição de espécies e esse fator tem sido estudado por alguns autores, mas ainda não há estudos investigando se a interação cupim-planta tem efeito na distribuição geográfica da espécie *Constrictotermes cyphergaster* e é isto que se pretende verificar neste trabalho. Esta é uma espécie de cupim arborícola, comum no Brasil e endêmico dos biomas Cerrado e Caatinga. Seus ninhos são construídos preferencialmente em espécies de plantas de porte arbóreo como *Qualea grandiflora* Mart., *Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Camb. e *Plathymenia reticulata* Benth. no Cerrado e arbustivos na Caatinga, como *Croton blanchetianus* Baill, *Pilosocereus gounellei* (FAC Weber), *Caesalpinia pyramidalis* Tul e *Aspidosperma pyriforme* Mart.. Foram aplicados modelos de nicho para essas oito espécies de plantas e para a espécie de cupim. Para isso foram utilizados dados sobre a ocorrência do cupim obtidos através da literatura e de coletas, do Centro de Referência em Informação Ambiental para as plantas e do WorldClim para os dados climáticos atuais e futuros. O método de modelagem foi o Maxent e a avaliação dos modelos foi através do índice AUC. Para estimar o quanto o clima ou a distribuição potencial das plantas hospedeiras deve afetar a distribuição potencial do cupim, usou-se a análise de caminhos. Os resultados mostraram que no cenário futuro de mudanças climáticas todas as espécies estudadas neste trabalho, perderão adequabilidade climática e conseqüentemente sua área de distribuição, sendo assim torna-se importante delinear estratégias para a conservação dessas espécies. Pode-se observar também, que a distribuição potencial das plantas hospedeiras apresentou uma maior contribuição na distribuição potencial do cupim, ficando o clima como fator secundário. Os modelos cupim-planta e cupim-clima-planta foram os que apresentaram maior correlação e maior semelhança. Portanto, percebe-se a importância de se incluir as interações bióticas nos modelos de distribuição potencial, uma vez que elas podem promover um refinamento na predição dos modelos.

**Palavras-chave:** *Constrictotermes cyphergaster*, nicho ecológico, interação cupim-planta.

## ABSTRACT

It is important to know the distribution of species and their interaction with different factors, being them, biotic, abiotic, dispersal and development ability mainly in studies involving the ecological niche. In this context, the climate plays an important role, besides being the most used factor in niches models studies. These models are used to predict the area of occurrence of a species over geographic space through statistical and computational techniques. They are based on the assumption that if a species can be found in certain weather conditions, then it must be able to survive and reproduce in all areas with the same conditions. However, biotic interactions may also be important in the distribution of species and this factor has been studied by some authors, but there are no studies investigating whether the termite-plant interaction is effective in the geographical distribution of *Constrictotermes cyphergaster* species and this is what is intended to verify in this work. This is a species of arboreal termites, common in Brazil and endemic of the Cerrado and Caatinga. Their nests are constructed preferably in species of tree-sized plants like *Qualea grandiflora* Mart., *Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Camb., and *Plathymenia reticulata* Benth., in Cerrado; and Caatinga shrubs, as *Croton blanchetianus* Baill, *Pilosocereus gounellei* (FAC Weber), *Caesalpinia pyramidalis* Tul and *Aspidosperma pyrifolium* Mart.. Niche models were applied to these eight species of plants and the species of termite. For this, it was used data on the occurrence of termite obtained through literature and collections from the Environmental Information Reference Center for plants and Worldclim for current and future climate data. The modeling method was the Maxent and the evaluation of the models was through the AUC index. To estimate how much the climate or the potential distribution of host plants should affect the potential distribution of termite, it was used the analysis of paths. The results showed that in the future scenario of climate changes all species studied in this work will lose climate suitability and consequently their range, so it becomes important to devise strategies for the conservation of these species. It can also be observed that the potential distribution of host plants presented a greater contribution to the potential distribution of termite, with the climate as a secondary factor. The termite-plant and termite-climate-plant models showed the highest correlation and greater similarity. Therefore, it is noticed the importance of including the biotic interactions in the potential distribution models, since they can promote a refinement in the prediction of models.

**Key words:** *Constrictotermes cyphergaster*, ecological niche, termite-plant interaction.

## INTRODUÇÃO

A área de distribuição de uma espécie é resultante da interação de fatores que atuam em diferentes intensidades e escalas, abrangendo os fatores abióticos, que são as condições ambientais favoráveis ao estabelecimento, reprodução e sobrevivência do indivíduo; interações bióticas nas quais as populações conseguem manterem-se viáveis; capacidade de dispersão para novas áreas e capacidade evolutiva das espécies de estarem aptas às novas condições (Soberón & Peterson, 2005). Assim, pode-se dizer que a distribuição geográfica de uma espécie está relacionada com seu nicho ecológico (Barbosa, 2011).

O nicho ecológico tem sido muito utilizado no processo de construção de modelos de distribuição geográfica das espécies (Austin, 2002). Estes, também chamados de modelos bioclimáticos ou modelos de nicho ecológico são criados a partir de técnicas de modelagem e necessitam basicamente de três dados: os pontos de ocorrência das espécies, as variáveis ambientais e os métodos analíticos (Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2013). Os métodos analíticos são funções (algoritmos) ou modelos que relacionam as informações sobre as espécies às variáveis ambientais para determinar os seus nichos (Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2012).

Operacionalmente é interessante que os algoritmos sejam divididos em dois grupos de acordo com o tipo de dado necessário para a construção dos modelos: 1) aqueles modelos que utilizam tanto dados de presença (locais onde a espécie foi observada) quanto de ausência das espécies (locais onde certamente a espécie não ocorre), chamados modelos baseados em presenças e ausências (e.g. *Generalized Additive Models (GAM)*, *Generalized Linear Models (GLM)*, *Random Forest (RndFor)* e *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)*) e 2) aqueles modelos que utilizam apenas dados de presença, chamados modelos baseados em presenças (e.g. *Bioclimatic envelope (BIOCLIM)*), *Euclidian Distance (EuclidDist)*, *Gower Distance (GowerDist)*, *Mahalanobis distance (MahalanobisDist)*, *Ecological Niche Factor Analysis (ENFA)*, *Genetic Algorithm for Rule Set Production (GARP)* e *Maximum Entropy (MaxEnt)*) (Franklin, 2009).

Apesar da variedade de modelos, as técnicas de modelagem de distribuição geográfica têm sido amplamente utilizadas atualmente e são as mais confiáveis em avaliar, em ampla escala geográfica, a distribuição geográfica das espécies, em um cenário de mudanças climáticas (Hof *et al.*, 2012). Os modelos são baseados no pressuposto de que se uma espécie pode ser encontrada em certas condições climáticas, então ela deve ser capaz de sobreviver e

se reproduzir em todas as áreas com as mesmas condições (Hanspach *et al.*, 2010) e isso é um indicativo da sua tolerância ambiental e preferências de hábitat, ou do seu nicho climático (Soberón, 2007).

Compreender todas as condições em que a espécie ocorre é uma tarefa difícil. Contudo Pearson & Dawson (2003) afirmam que o clima é a principal variável que determina a distribuição das espécies em amplas escalas (> 200 km), porém outros estudos como os de Araújo & Luoto (2007), Heikkinen *et al.*, (2007), Meier *et al.*, (2010) e Wisz *et al.*, (2013) evidenciam que as interações bióticas também podem ser importantes na distribuição de espécies em macro escalas, além das escalas locais e regionais. Além disso, outros autores (Gutiérrez *et al.*, 2005; Leathwick & Austin, 2001; Pelissier *et al.*, 2010 e Guisan *et al.*, 1999) também relatam que a inclusão de interações bióticas pode aumentar a precisão da previsão dos modelos bioclimáticos.

O interesse em incluir a interação biótica na modelagem de distribuição das espécies tem sido bastante estudada e discutida atualmente, uma vez que podem promover o refinamento dos modelos de nicho. Pellissier *et al.*, (2010) estudaram a existência de interações positivas e negativas que ocorrem entre uma espécie dominante de planta e 34 espécies de plantas subordinadas. Giannini *et al.*, (2012) compararam diferentes modelos de distribuição nas interações entre parasita-hospedeiro e planta-polinizador. Godsoe *et al.*, (2009) também estudaram a interação planta-polinizador. Santos (2013) estudou o efeito de exclusão competitiva de duas espécies de cupim, interação borboleta-planta e presa-predador, que também foi estudado por Redfern *et al.*, (2006). Silva *et al.*, (2014) analisaram a interação planta-abelha. Heikkinen *et al.*, (2007) pesquisaram a interação entre coruja e pica-pau. McPherson & Jetz (2007) estudaram a influência de vários fatores bióticos na distribuição potencial de várias espécies de aves da África. Leathwick & Austin (2001) estudaram as interações competitivas entre espécies de árvores da Nova Zelândia. Nabout *et al.*, (2013) estudaram a distribuição potencial de uma espécie de cupim associada à distribuição potencial de uma espécie de planta, na qual ele utiliza para construir seus ninhos. Entretanto, os autores utilizaram apenas dados climáticos, sem verificar se a interação cupim-planta tem efeito na distribuição geográfica das espécies arborícolas.

As interações bióticas são conhecidas por afetar a distribuição espacial das espécies (van Dam, 2009). Enquanto as interações positivas (e.g., mutualismo) reforçam a permanência das espécies em locais favoráveis ambientalmente, sua ausência ou presença de interações negativas (e.g., predação, competição, parasitismo) restringem os locais onde elas podem ocupar (Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2013). Algumas espécies mantem interações

interespecíficas, algumas são espécie-específicas e outras são difusas (complexos de espécies), como é o caso do cupim *Constrictotermes cyphergaster* (Silvestri) e as plantas hospedeiras, nas quais ele constrói seu ninho.

*C. cyphergaster* é uma espécie de cupim arborícola da região Neotropical, endêmica do Cerrado, Caatinga e Chaco. Além do Brasil, esta espécie está presente na Bolívia, Paraguai e na Argentina (Torales *et al.* 2005), países nos quais sua ecologia e biologia não foram estudadas (Bezerra-Gusmão, 2008). A espécie é importante não só por sua abundância nesses ecossistemas, mas também por seus ninhos abrigam frequentemente cupins inquilinos, como *Inquilinitermes fur* (Silvestri) e *Inquilinitermes microcerus* (Silvestri), que são inquilinos obrigatórios do gênero *Constrictotermes* (Cunha *et al.*, 2003) e ainda servem de abrigo para outros artrópodes (Cunha & Brandão, 2000). Os cupins desempenham importante papel nos processos de decomposição da matéria orgânica em savanas e florestas tropicais (López-Hernández, 2001); servem de substrato para o desenvolvimento de várias plantas (Constantino, 2005) e ainda apresentam relevante importância na estruturação dos solos, em decorrência da adição de saliva e fezes ao ambiente (Holt & Lepage 2000). Por isso, devido a esse poder de modificar a estrutura do habitat, os cupins estão classificados entre os “engenheiros do ecossistema” (Lawton, 1997) e isso significa que a eliminação de algumas espécies de cupins de um ecossistema, poderia causar a perda de organismos de várias outras espécies que dependem dos cupins para sobreviver e reproduzir (Constantino, 2005).

A espécie *C. cyphergaster* tem sido bastante estudada nos biomas onde ocorre. Na Caatinga, há estudos sobre hábito alimentar (Moura *et al.*, 2006 a); influência da sazonalidade no comportamento de forrageamento (Moura *et al.*, 2006 b); população e biomassa de ninhos (Vasconcellos *et al.*, 2007); desenvolvimento do sistema de castas (Moura *et al.*, 2010); contribuição de *C. cyphergaster* para o ciclo do carbono (Bezerra-Gusmão *et al.*, 2011) e distribuição dos ninhos em plantas da Caatinga (Bezerra-Gusmão *et al.*, 2013). No Cerrado, Cunha & Brandão (2000) e Cunha *et al.*, (2003) estudaram sobre a interação com outras espécies, inclusive inquilinos do ninho; Schmidt (2007) estudou a distribuição potencial de várias espécies de cupins. Lima-Ribeiro *et al.*, (2006) observaram que *C. cyphergaster* tem preferência por algumas espécies vegetais para construir seus ninhos, o que também foi estudado por Silva *et al.*, (2007) e Leite *et al.*, (2011).

*C. cyphergaster* utiliza troncos de árvores e arbustos como suporte para construção de seu ninho. No Cerrado, foram encontrados ninhos em 24 espécies de plantas sendo elas de porte arbóreo (Lima-Ribeiro *et al.*, 2006) e também há registros de ninhos construídos em rochas em uma área no Mato Grosso do Sul (comunicação pessoal H.F. da Cunha). Na

Caatinga, em um trabalho realizado por Bezerra-Gusmão, (2013) os ninhos estavam presentes em 13 espécies de plantas de porte arbustivo, cactos e rochas. Apesar da grande variedade de plantas utilizadas como suporte para a construção do ninho de *C. cyphergaster*, este apresenta preferência por algumas espécies de plantas. No Cerrado, foi verificado por Lima-Ribeiro *et al.*, (2006) que esta preferência pode estar ligada as características físicas da planta, tais como: diâmetro e inclinação do caule e altura da árvore, necessárias para o desenvolvimento ideal das colônias.

A distribuição de colônias de cupins pode ser influenciada por variações na concentração de nutrientes do solo (Ackerman *et al.*, 2007; Holt & Lepage, 2000); variações climáticas e altitude (Korb & Linsenmair, 2001); tipo e profundidade do solo (Holt & Lepage, 2000) e desmatamento (Brandão & Souza, 1998). Todavia, ainda não se sabe se área de distribuição geográfica de *C. cyphergaster* é influenciada também pela interação das plantas hospedeiras ou se somente o clima determina a sua distribuição geográfica e isso é o que se pretende verificar nesse trabalho.

## **OBJETIVO GERAL**

Verificar a influência do clima e das plantas hospedeiras na distribuição geográfica potencial do cupim *C. cyphergaster* no cenário climático atual e futuro na região de Cerrado e Caatinga.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar a distribuição geográfica potencial atual de *C. cyphergaster* e das plantas hospedeiras associadas a ele no Cerrado e na Caatinga;
- Projetar a distribuição geográfica potencial de *C. cyphergaster* e de suas plantas hospedeiras verificando a adequabilidade ambiental para o cenário climático futuro (ano 2070);
- Investigar a importância da interação cupim-plantas na distribuição potencial do cupim *C. cyphergaster* no cenário climático atual e futuro;
- Verificar a influência do clima na distribuição geográfica de *C. cyphergaster* e das plantas hospedeiras no cenário climático atual e futuro.

## METODOLOGIA

Para modelar a distribuição geográfica potencial das espécies em estudo, necessitou-se: i) dados de ocorrência das espécies (i.e. coordenadas geográficas); ii) dados climáticos para o cenário atual e futuro e iii) o método de modelagem (i.e. um algoritmo computacional). Para analisar o quanto a distribuição potencial das plantas hospedeiras deve afetar a distribuição potencial do cupim, utilizou-se a análise de caminhos (path analysis).

### Dados de ocorrência das espécies

Os dados de ocorrência do cupim *C. cyphergaster* foram obtidos por meio de literatura científica e alguns pontos foram coletados para o projeto do Edital Universal nº 14/2011 intitulado “Distribuição geográfica de Isoptera do Cerrado: uso de modelos de nicho para delineamento amostral e impacto das mudanças climáticas globais”, coordenado pela professora Dr. Héli da Ferreira da Cunha. Ao todo foram obtidos 101 pontos de ocorrência (Figura 2A).

Para selecionar as espécies de plantas que interagem com o cupim como suporte para construção do ninho, foi considerado a frequência de ninhos encontrados em cada espécie de planta. No Cerrado, Lima-Ribeiro *et al.*, (2006) registraram uma maior frequência nas seguintes plantas: *Qualea grandiflora* Mart., *Annona crassiflora* Mart., *Caryocar brasiliense* Camb. e *Plathymenia reticulata* Benth.. Já na Caatinga, Bezerra-Gusmão (2008) registrou uma maior frequência de ninhos nas plantas: *Croton blanchetianus* Baill, *Pilosocereus gounellei* (FAC Weber), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. e *Aspidosperma pyrifolium* Mart.. Os dados de ocorrência das espécies de plantas foram obtidos do banco de dados disponibilizados pelo Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA; <http://www.cria.org.br>), onde foram obtidos um total de 5841 pontos (Figura 2B). Os pontos de ocorrência das espécies foram utilizados na modelagem de distribuição geográfica potencial.

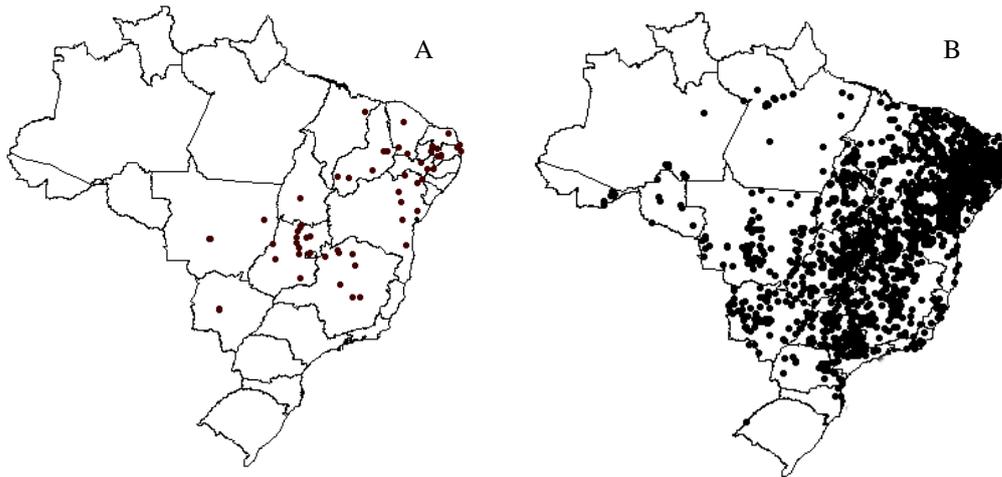


Figura 2. Pontos de ocorrência utilizados para a modelagem de distribuição geográfica potencial do cupim *Constrictotermes cyphergaster* (A) e de oito espécies de plantas hospedeiras (B).

### Dados climáticos para o cenário atual e futuro

Os mapas de variáveis climáticas utilizados estão disponíveis gratuitamente no banco de dados climáticos *WorldClim* (<http://www.worldclim.org/>), no qual existem 19 variáveis bioclimáticas (derivadas de temperatura e de precipitação) e altitude (Hijmans *et al.*, 2005). Destas, foram selecionadas cinco: temperatura média anual, variação da temperatura anual, precipitação do mês mais chuvoso, precipitação do mês mais seco e precipitação do trimestre mais quente. As variáveis foram selecionadas a partir da recomendação de Terrible *et al.*, (2012), que definiram regiões climaticamente estáveis ao longo do tempo, delimitando uma área comum de climas adequados a qualquer espécie da região Neotropical, evitando a colinearidade entre as variáveis climáticas. Para o cenário climático futuro, essas variáveis climáticas foram derivadas do modelo climático global CCSM (Community Climate System Model), com projeções obtidas para o cenário pessimista (RCP 4.5), ou seja, com maior emissão de gases de efeito estufa (Karl & Trenberth, 2005). Todas as variáveis climáticas foram convertidas em uma grade com resolução de 0,5 grau de abertura de malha e projetadas para o ano de 2070, assim apresentando menor incerteza e maior confiança nos modelos gerados a partir dessa projeção.

## Método de modelagem

Para os modelos de distribuição geográfica foi utilizado o algoritmo Maxent (*Maximum Entropy*) (Phillips *et al.*, 2006) que é um método de inteligência artificial que prevê corretamente a ocorrência das espécies (Rangel & Loyola, 2012) e é considerado um método com ótimo desempenho em termos de precisão da previsão (Elith *et al.*, 2006). É um modelo que ajusta a probabilidade de ocorrência da espécie no espaço geográfico a partir das variáveis ambientais relacionando-as tanto aos dados de presença quanto de pseudo-ausência (locais onde não há registro de ocorrência da espécie, mas a mesma pode estar presente devido às condições climáticas serem semelhantes aos locais onde a espécie ocorre). Dessa forma, aproxima-se de uma distribuição uniforme, alcançando a máxima entropia do sistema (Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2013).

Para avaliar o desempenho dos modelos foi utilizado o método da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Esta é obtida relacionando-se a sensibilidade do modelo (a proporção de presenças verdadeiras em relação ao total de presenças preditas pelo modelo) com a especificidade (a proporção de ausências verdadeiras em relação ao total de ausências preditas pelo modelo). A área sob essa curva é chamado de AUC (*Area Under the Curve*) indica a qualidade das predições do modelo (Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2013).

Atualmente, a AUC tem sido o teste mais amplamente utilizado pelos pesquisadores nas avaliações das distribuições geográficas modeladas, pois é um teste independente do limiar de decisão o que permite comparação global de desempenho dos modelos. Além disso, segundo Phillips *et al.*, (2006) uma vantagem importante da AUC é que ele pode ser obtido para os modelos baseados somente em presenças, usando as pseudo-ausências para calcular a sensibilidade e a especificidade. Este índice varia de 0 a 1, sendo que, valores de AUC próximos de 1 indicam alto desempenho do modelo e valores menores do que 0,5 indicam baixo desempenho do modelo (Elith *et al.*, 2006).

Foram elaborados quatro modelos para o cenário climático atual e futuro: 1) distribuição geográfica potencial do cupim em função do clima (Figura 3); 2) distribuição geográfica potencial de cada espécie de planta hospedeira em função do clima (Figura 4); 3) distribuição geográfica potencial do cupim em função dos modelos das plantas hospedeiras (Figura 5) e 4) distribuição geográfica potencial do cupim em função do clima e dos modelos das plantas hospedeiras (Figura 6).

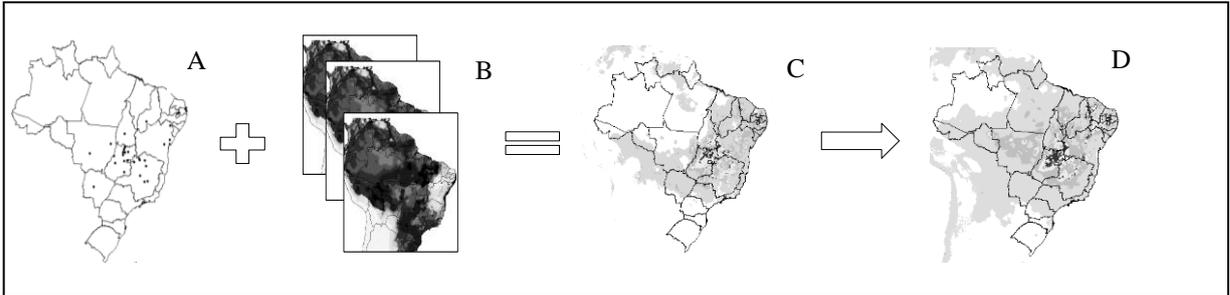


Figura 3 - Esquema ilustrando o processo de criação do modelo de distribuição geográfica do cupim. Os pontos de ocorrências do cupim (A) são associados a fatores ambientais atuais/futuras (B) que por meio de uma técnica de modelagem projeta a distribuição geográfica potencial da espécie para o cenário climático atual (C) e para cenário climático futuro (D).

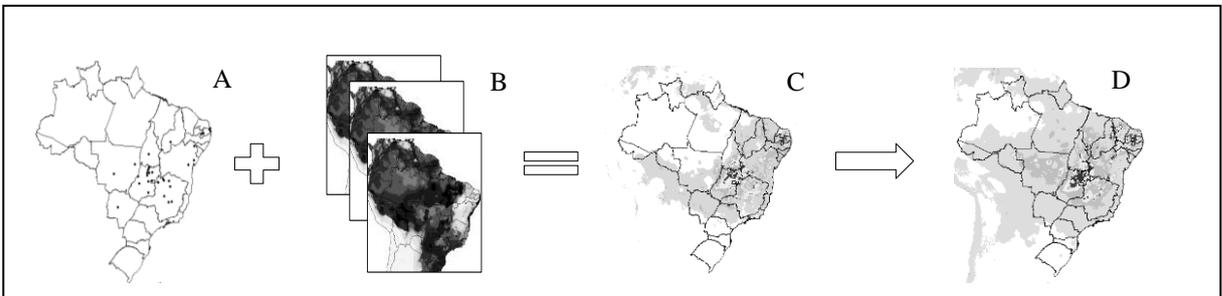


Figura 4 - Esquema ilustrando o processo de criação do modelo de distribuição geográfica de cada espécie de planta hospedeira. Os pontos de ocorrências das espécies de plantas (A) são associados a fatores ambientais atuais/futuras (B) que por meio de uma técnica de modelagem projeta a distribuição geográfica potencial da espécie para o cenário climático atual (C) e para o cenário climático futuro (D).

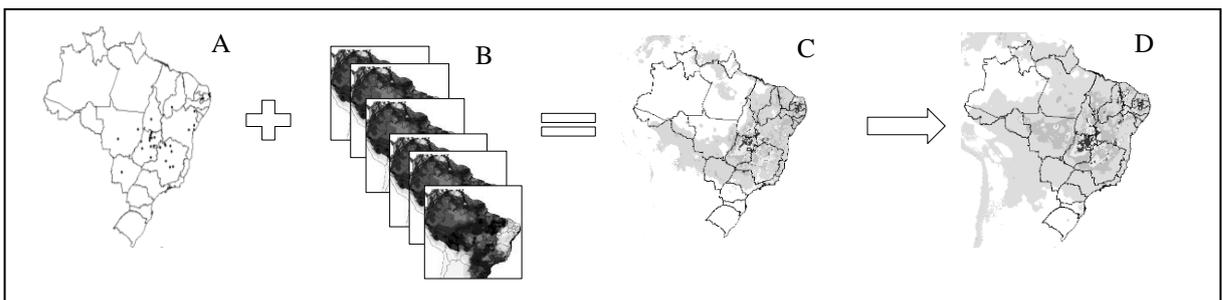


Figura 5 - Esquema ilustrando o processo de criação do modelo de distribuição geográfica do cupim em função do modelo das plantas hospedeiras. Os pontos de ocorrências do cupim (A) são associados à distribuição geográfica das plantas (B) e por meio de uma técnica de modelagem projeta a distribuição geográfica potencial do cupim em função das plantas hospedeiras para o cenário climático atual (C) e para o cenário climático futuro (D).

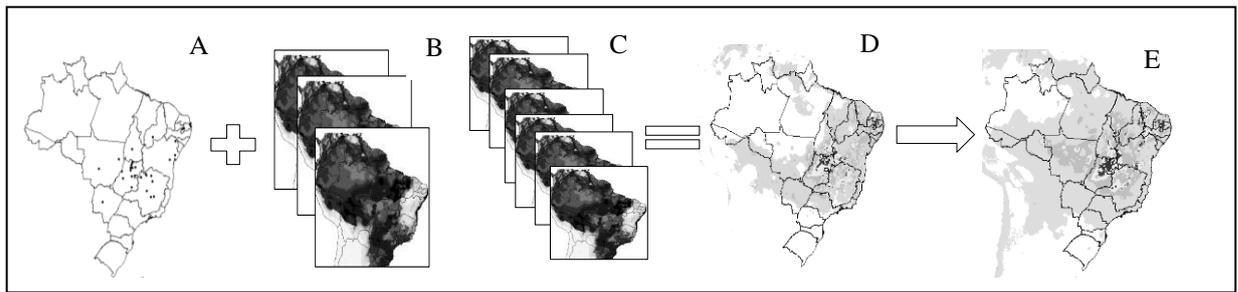


Figura 6 - Esquema ilustrando o processo de criação do modelo de distribuição geográfica do cupim em função do clima e do modelo das espécies de plantas hospedeiras. Os pontos de ocorrência do cupim (A) são associados a fatores ambientais atuais/futuras (B) e a distribuição geográfica das plantas hospedeiras (C) e por meio de uma técnica de modelagem projeta a distribuição geográfica potencial da espécie para o cenário climático atual (D) e para o cenário climático futuro (E).

### Análise dos dados

Desenvolvida por Sewall Wright, em 1921, em um trabalho de genética de populações (Akintunde, 2012), a análise de caminhos (Path analysis) permite quantificar as relações de causa e efeito entre as variáveis envolvidas em um estudo, possibilitando conclusões mais concisas. Nos anos sessenta foi adotada pelas Ciências Sociais e desde então é muito utilizada em Ecologia, principalmente na tentativa de entender as relações entre um conjunto de variáveis (Stoelting, 2004).

A análise de caminhos consiste em uma regressão linear múltipla que permite entender as correlações entre um conjunto de variáveis ou preditores (Legendre & Legendre, 1998). Esta análise também permite conhecer os efeitos diretos e indiretos que as variáveis explicativas exercem sobre uma variável principal (Souza, 2013). O efeito direto é a relação direcional de uma variável independente sobre outra dependente, já o efeito indireto é o efeito de uma variável independente sobre a variável dependente através de uma ou mais variáveis mediadoras.

Portanto, para estimar o quanto o clima ou a distribuição potencial das plantas hospedeiras deve afetar a distribuição potencial do cupim, usou-se a análise de caminhos, utilizando-se como variáveis os dados normalizados (normalização Z) da adequabilidade dos modelos de distribuição potencial: cupim-clima (CCI), plantas-clima (PCI), cupim-plantas (CP) e cupim-clima-plantas (CCIP). Os dados de adequabilidade foram adquiridos através do centroide (ponto central de cada quadrícula de 0,5°) a partir das coordenadas nas quais as

espécies ocorrem em cada modelo de distribuição potencial. Para esta análise, utilizou-se o pacote “agricolae” versão 1.2-1 (Mendiburu, 2012) para o programa R versão 3.1.1.

Na representação dos coeficientes de regressão utilizou-se um diagrama de caminhos, que também mostra as relações causais entre todas as variáveis. Nele é apresentando as relações entre a variável principal ou dependente (CCIP) e suas variáveis explicativas ou independentes (CP, CCI e PCI).

A fórmula do modelo da análise de caminhos é:

$$CCIP = a + b1*CCI+b2*PCI+b3*CP$$

Onde :

CCIP é a variável dependente;

a é a constante, ou o intercepto entre a reta e o eixo ortogonal;

b1, b2 e b3 correspondem aos coeficientes diretos (coeficiente parcial da regressão); já os coeficientes indiretos entre cada par de variáveis são obtidos pela multiplicação entre o coeficiente direto e a correlação entre tais variáveis; e

CCI, PCI e CP representam as variáveis independentes.

## RESULTADOS

### Avaliação dos modelos

As métricas de avaliação indicaram um alto desempenho para os modelos gerados com valores variando de 0,908 a 0,978. Os valores de AUC para todos os modelos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores do AUC para os modelos de distribuição geográfica potencial do cupim e das plantas hospedeiras e da interação entre ambos.

Modelos de distribuição	Valores do AUC
Cupim – clima	0.923
Plantas – clima:	
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	0.954
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	0.954
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	0.960
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.	0.945
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	0.978
<i>Pilosocereus gounellei</i> (FAC Weber)	0.970
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	0.908
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	0.914
Cupim – plantas	0.949
Cupim – plantas + clima	0.953

### Distribuição geográfica potencial de *C. cyphergaster* em função do clima

No cenário atual (Figura 7A) o modelo de distribuição geográfica atual de *C. cyphergaster* demonstrou que esta espécie está distribuída no Cerrado e na Caatinga e que os Estados de Goiás, Bahia, Pernambuco e uma pequena parte de Minas Gerais e Ceará apresentam melhores condições climáticas para a ocorrência do cupim com áreas atingindo valores de adequabilidade de 0.75 a 1. Os Estados de Tocantins, Pernambuco e Piauí também apresentam adequabilidade favorável ao cupim com valores variando de 0.5 a 0.75. As demais áreas apresentam baixa adequabilidade que fica em torno de 0 a 0.5. No cenário futuro (Figura 7B), observa-se uma redução (67,47%) na adequabilidade climática, tendo apenas Goiás e Minas Gerais uma adequabilidade melhor para essa espécie, com valores em torno de 0.25 a 0.5. As demais regiões são pouco adequadas climaticamente, com valores na faixa de 0 a 0.25.

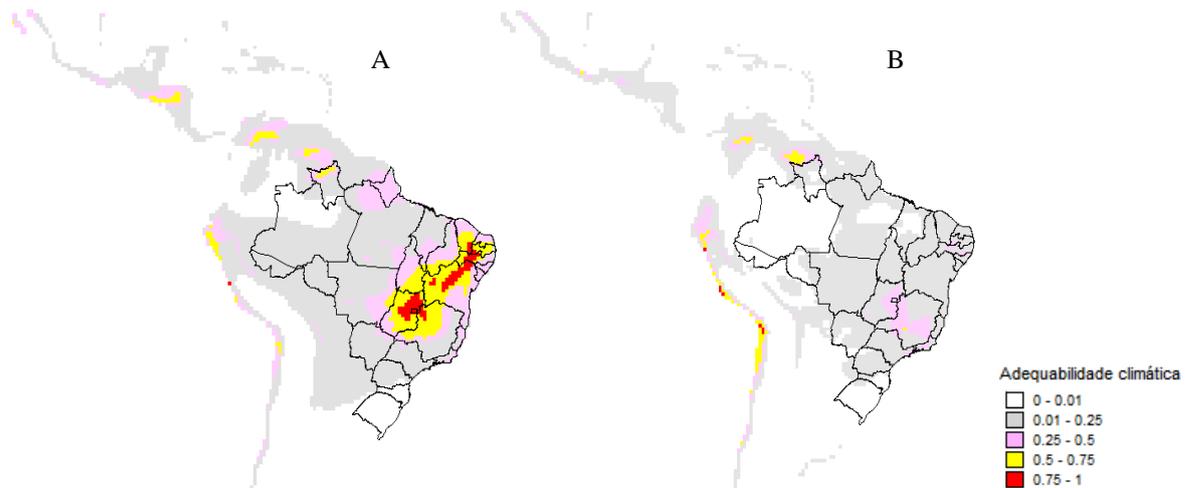


Figura 7 - Mapa de distribuição geográfica potencial de *Constrictotermes cyphergaster* considerando cenário climático atual (A) e futuro (B).

### Distribuição geográfica potencial das plantas hospedeiras de *C. cyphergaster* em função do clima

Atualmente, as regiões que apresentam uma adequabilidade climática maior para a espécie de planta *Annona crassiflora* Mart. são os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Bahia (Figura 8A), com valores na faixa de 0.5 a 1. Já no ano de 2070 (Figura 8B), haverá uma redução de 71,49% na adequabilidade climática, que será maior apenas em uma pequena área dos Estados de Minas Gerais e São Paulo, com valores de 0.5 a 1.

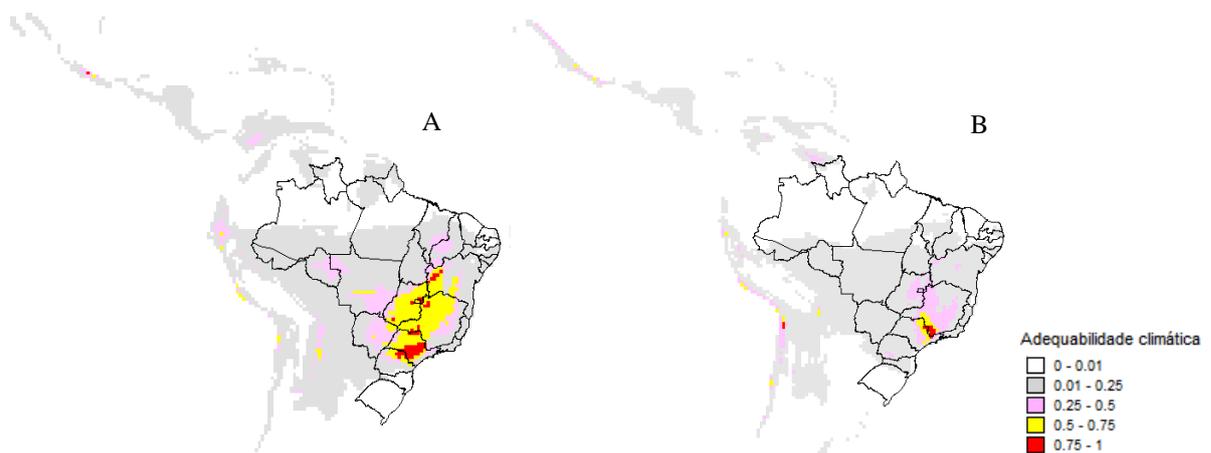


Figura 8: Distribuição geográfica da espécie *Annona crassiflora* Mart. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

A espécie *Aspidosperma pyrifolium* Mart. está amplamente distribuída na região Nordeste (Figura 9A), no qual apresenta uma adequabilidade maior, com valores de 0.5 a 1. As demais regiões possuem uma adequabilidade climática baixa, na faixa de 0 a 0.25. No cenário futuro (Figura 9B), essa distribuição é reduzida, com perda de 55,25% de

adequabilidade climática, restando apenas parte dos Estados do Piauí, Minas Gerais e Bahia, com maior adequabilidade para espécie, com valores em torno de 0.5 a 0.75.

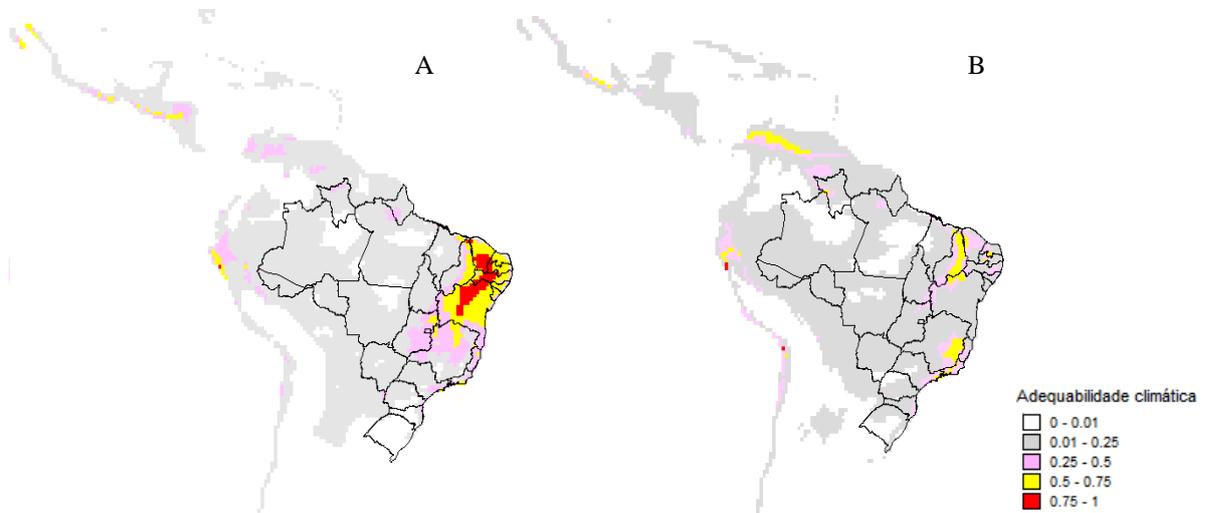


Figura 9: Distribuição geográfica da espécie *Aspidosperma pyriforme* Mart. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

A espécie *Caesalpinia pyramidalis* Tul. está concentrada na região Nordeste, na qual a adequabilidade está entre 0.25 e 1 (Figura 10A). Os locais que apresentam maior adequabilidade climática (0.75 a 1) para espécie são algumas regiões dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. No ano de 2070 (Figura 10B), ocorrerá uma perda de 73,88% na adequabilidade climática, que será maior em uma pequena região do Estado de Minas Gerais (0.5 a 1) e Rio de Janeiro (0.5 a 0.75).

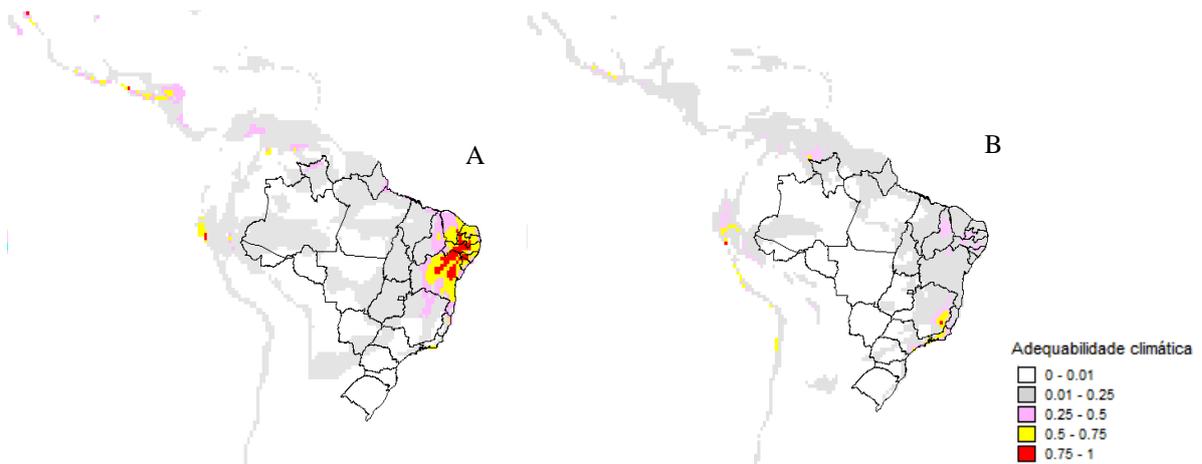


Figura 10: Distribuição geográfica da espécie *Caesalpinia pyramidalis* Tul. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

Já para a espécie *Caryocar brasiliense* Camb., os Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e uma pequena região na Bahia apresentam uma adequabilidade climática maior (0.75 a 1) e também há áreas com adequabilidade variando de 0.5 a 0.75, incluindo os Estados do Tocantins, Mato Grosso e Paraná (Figura 11A). No ano de 2070 (Figura 11B), haverá uma perda de 63,83% de adequabilidade climática para esta espécie e as regiões mais propícias para o seu desenvolvimento será em pequenas áreas dos Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo, com adequabilidades variando de 0.5 a 1.

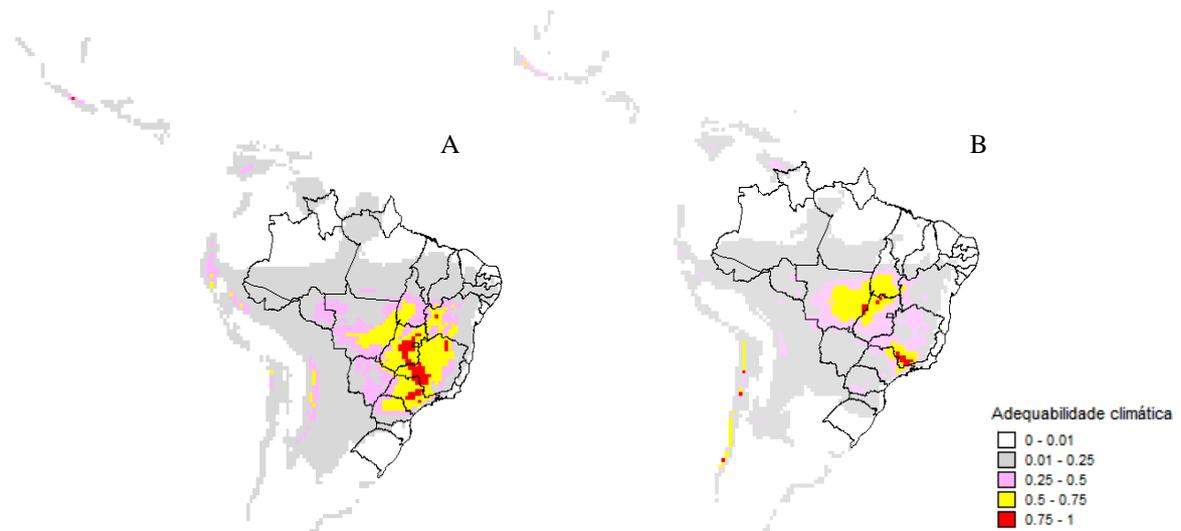


Figura 11: Distribuição geográfica da espécie *Caryocar brasiliense* Camb. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

No cenário atual (Figura 12 A), para a espécie *Croton blanchetianus* Baill. a maior adequabilidade climática está na região Nordeste, principalmente nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, parte da Bahia, Piauí e uma pequena área do Maranhão. Já no cenário futuro (Figura 12 B), haverá ter uma redução de 69% na adequabilidade climática, restando apenas os Estados do Ceará, algumas regiões do Piauí, Bahia, Paraíba e Pernambuco com adequabilidade variando de 0.25 a 0.5.

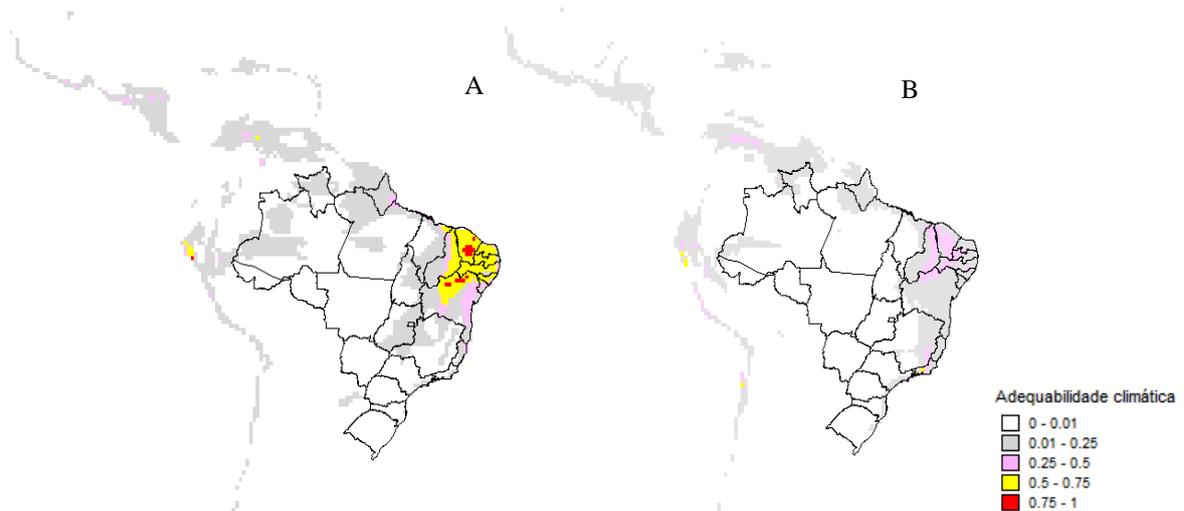


Figura 12: Distribuição geográfica da espécie *Croton blanchetianus* Baill. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

A espécie *Pilosocereus gounellei* (FAC Weber) está predominantemente na região Nordeste que apresenta uma maior adequabilidade climática (0.5 a 1), abrangendo principalmente os Estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba e Ceará (Figura 13A). No cenário futuro (Figura 13B), haverá uma perda de adequabilidade climática de 63,22% restando apenas uma pequena região do Estado de Minas Gerais com adequabilidade variando de 0.5 a 0.75 e também pequenas áreas de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo com adequabilidade em torno de 0.25 a 0.5.

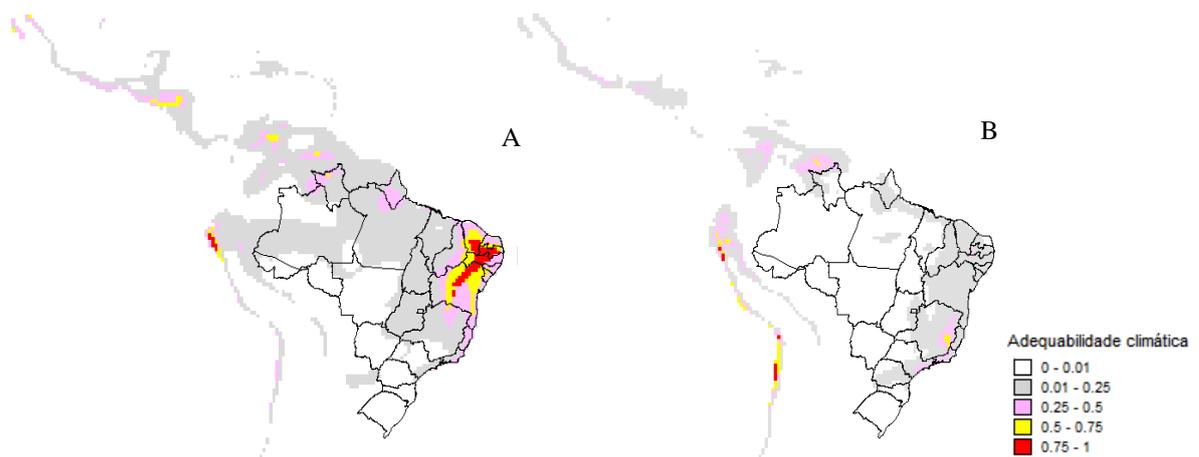


Figura 13: Distribuição geográfica da espécie *Pilosocereus gounellei* (FAC Weber) no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

Outra espécie que também perderá adequabilidade climática (65,34%) é a *Plathymeria reticulata* Benth.. Atualmente (Figura 14A), sua distribuição é bastante ampla, abrangendo o Cerrado e a Caatinga, se concentrando nos Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Tocantins, Maranhão, Mato Grosso, Piauí, uma pequena área do Ceará,

Pernambuco e Mato Grosso do Sul. No cenário futuro (Figura 14B), apenas parte dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Tocantins, Maranhão, São Paulo, Piauí e Paraná apresentaram uma adequabilidade climática variando de 0.5 a 0.75.

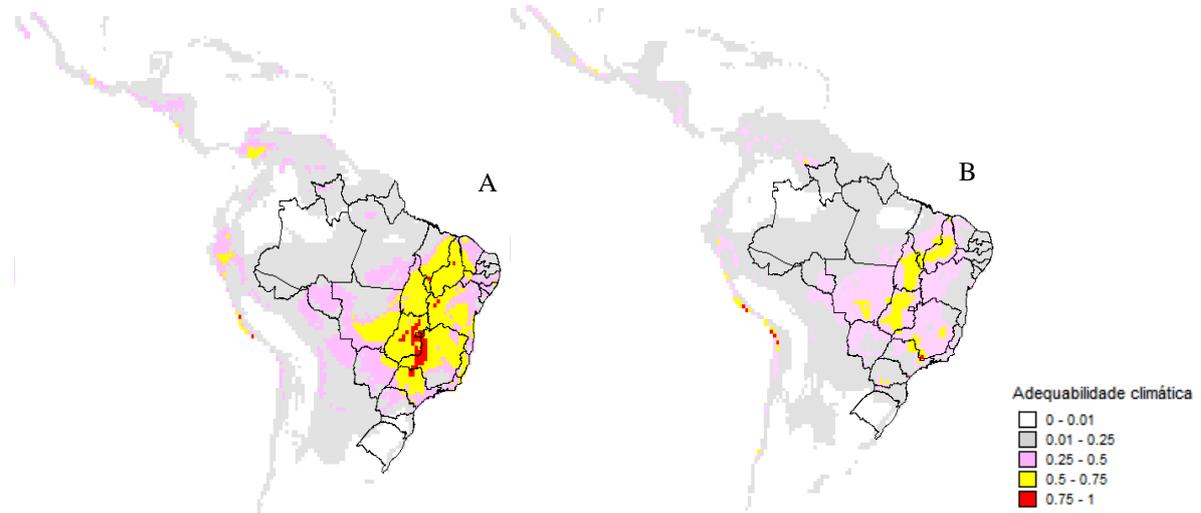


Figura 14: Distribuição geográfica da espécie *Plathymenia reticulata* Benth. no cenário atual (A) e cenário futuro (B).

A distribuição da espécie *Qualea grandiflora* Mart. no cenário atual (Figura 15A) está concentrada principalmente no Cerrado, nos Estados de Goiás e Minas Gerais e uma pequena região da Bahia e São Paulo com adequabilidade climática variando de 0.75 a 1. Nessas áreas e ainda em parte de outros Estados como Maranhão, Piauí, Tocantins e Mato Grosso apresentam uma adequabilidade com pouco mais baixa, em torno de 0.5 a 0.75. No cenário futuro (Figura 15B) o Estado que terá uma maior adequabilidade climática (0.75 a 1) para espécie será Goiás, ainda assim uma área muito pequena. A distribuição da espécie será bastante reduzida, com perda de 58,15% em adequabilidade climática.

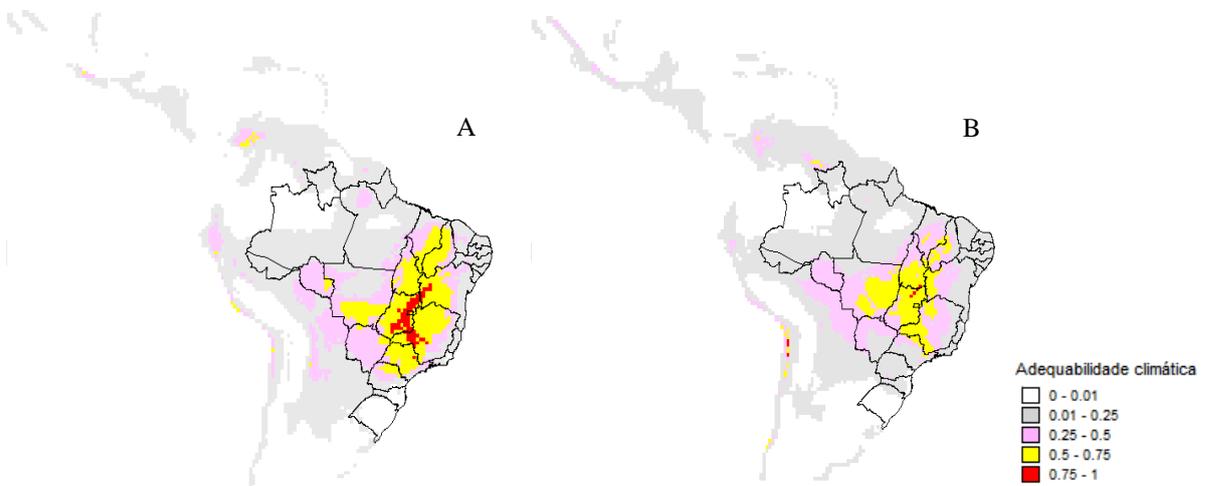


Figura 15: Distribuição geográfica da espécie *Qualea grandiflora* Mart. no cenário atual (A) e cenário futuro (B)

### Distribuição geográfica potencial *C. cyphergaster* em função dos modelos das plantas

O cupim *C. cyphergaster* utiliza algumas espécies de plantas, citadas anteriormente, para a construção dos cupinzeiros. Portanto, a distribuição geográfica potencial dessas plantas pode contribuir para compreender a distribuição de *C. cyphergaster*. Dessa forma, foi verificada a interação do cupim com essas plantas. Assim, pode-se perceber que, no cenário atual (Figura 16A), algumas áreas como Goiás, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Alagoas e uma pequena parte do Tocantins, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro tem maior adequabilidade climática tanto para o cupim quanto para as plantas, com valores de 0.5 a 1. Já para o ano de 2070 (Figura 16B), haverá perda (70,94%) de adequabilidade climática em todas as áreas, restando apenas uma pequena área no Estado de Minas Gerais com adequabilidade climática melhor, variando de 0.75 a 1 e algumas regiões dos Estados de Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo com adequabilidade na faixa de 0.5 a 0.75.

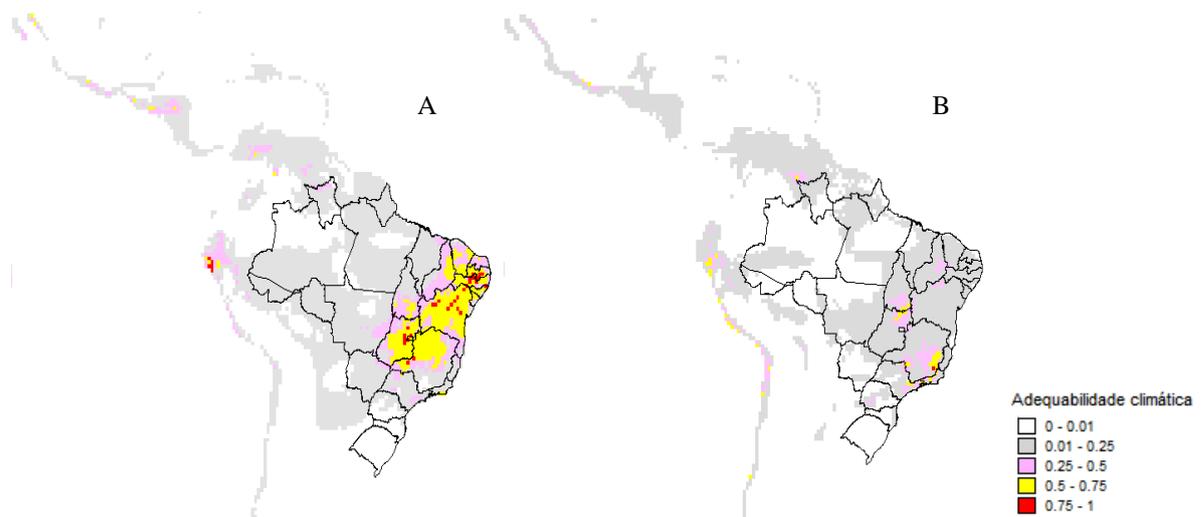


Figura 16: Distribuição geográfica do cupim *Constrictotermes cyphergaster* em função dos modelos das plantas no cenário atual (A) e no cenário futuro (B)

### Distribuição geográfica potencial *C. cyphergaster* em função dos modelos das plantas e do clima

O modelo de distribuição geográfica potencial atual de *C. cyphergaster* quando relacionado com o clima e com as plantas hospedeiras (Figura 17A), mostra que esta espécie está mais concentrada no Cerrado abrangendo principalmente os estados de Goiás, Minas Gerais, Bahia, Tocantins e na Caatinga, os Estados da Paraíba, Pernambuco, Ceará, Piauí, Alagoas e Sergipe. Estes locais apresentam adequabilidade climática na faixa de 0.5 a 1. Para

o ano de 2070 (Figura 17B), haverá uma perda de adequabilidade climática em todas as áreas (61,51%). Apenas pequenas áreas do Estado de Tocantins, Goiás, São Paulo e Rio de Janeiro poderão contribuir para uma melhor distribuição do cupim, com adequabilidade variando de 0.5 a 0.75.

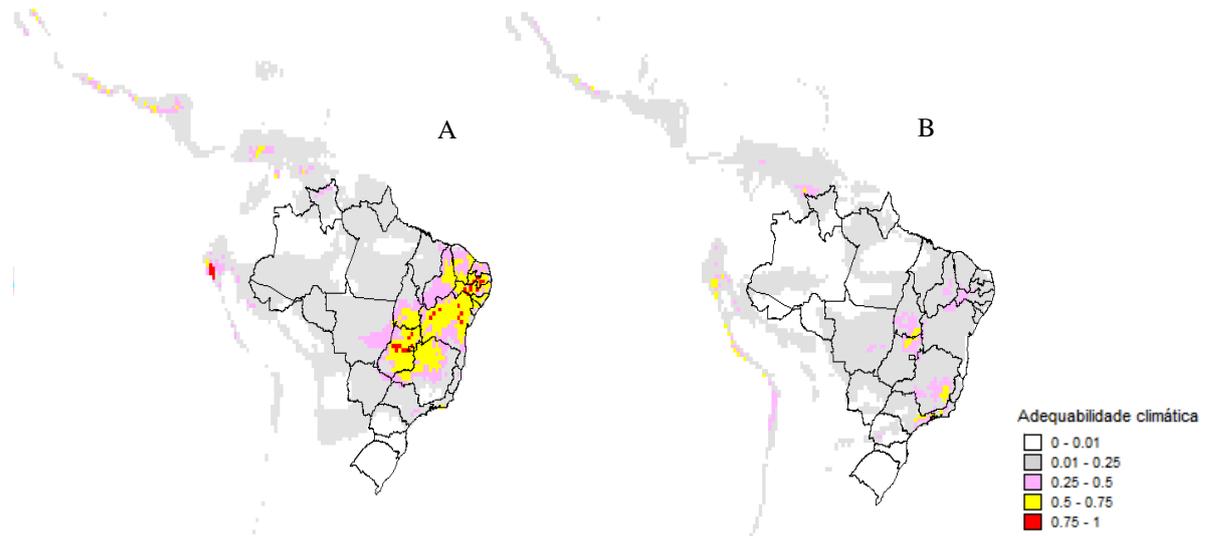


Figura 17: Distribuição geográfica do cupim *Constrictotermes cyphergaster* em função do clima e dos modelos das plantas no cenário atual (A) e no cenário futuro (B)

A contribuição percentual de cada planta utilizada pelo cupim *C. cyphergaster* e de cada variável climática usada na construção do modelo de distribuição potencial do cupim em função do clima e das plantas hospedeiras no cenário atual está descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Percentual de contribuição das plantas e das variáveis climáticas no cenário atual

Variável	Percentual de contribuição*
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	58,3
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	18,1
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	8,5
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	5,7
<i>Pilosocereus gounellei</i> (FAC Weber)	3,4
Precipitação do mês mais seco	3,1
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	1,4
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	0,5
Precipitação do mês mais chuvoso	0,4
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.	0,4
Temperatura média anual	0,1
Precipitação do trimestre mais quente	0
Variação da temperatura anual	0

\* Estimativas das contribuições relativas das variáveis ambientais do modelo Maxent.

As plantas nas quais o cupim nidifica, são responsáveis por 96,3% da sua distribuição potencial, enquanto o clima apenas 3,6%. A planta *A. pyrifolium* é a mais importante para *C.*

*cyphergaster* contribuindo com 58,3% da sua distribuição, seguido de *P. reticulata* que contribui com 18,1% da distribuição do cupim. As demais plantas contribuem com menos de 10% cada, sendo a espécie *C. brasiliense* a menos representativa, apenas com 0,4% de contribuição. Já as variáveis climáticas, a mais importante foi a precipitação do mês mais seco, contribuindo com 3,1%, seguido de precipitação do mês mais chuvoso com 0,4% e temperatura média anual com 0,1 %. As outras duas variáveis climáticas, precipitação do trimestre mais quente e variação da temperatura anual, não tiveram nenhuma contribuição para a distribuição potencial do cupim.

### Efeito da interação biótica e do clima

A análise de caminhos evidenciou que o modelo CP apresenta alta correlação (0.89) com a variável principal (CCIP), enquanto que o modelo CCI possui maior efeito direto (0.12) do que o modelo PCI, que causa um efeito direto negativo (-0.02). O modelo PCI exerce um grande efeito indireto (0.73) sobre o modelo CP, que por sua vez apresenta um pequeno efeito indireto sobre o modelo CCI. Este, no entanto, apresenta uma alta correlação sobre o modelo CP (0.77). Todos esses efeitos estão representados no diagrama de caminhos (Figura 18) e na Tabela 4. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0.964 e o efeito residual 0.036, também estão representados na Tabela 3.

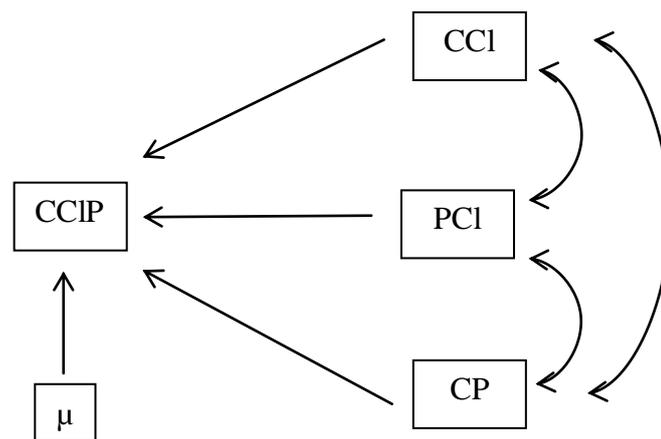


Figura 18. Diagrama de caminhos mostrando todas as correlações entre os modelos. A seta unidirecional indica efeito direto de cada variável independente sobre a variável dependente, enquanto que a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis independentes;  $\mu$  indica o efeito residual.

Tabela 3 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos que envolveram a variável principal dependente, o modelo (CCIP) e as variáveis independentes explicativas (CCI, CP, PCI).

<b>Modelo</b>	<b>Efeitos de associação</b>	<b>Estimativa</b>
<b>CCI</b>	Direto sobre CCIP	0.1246139
	Indireto via CP	0.7759840
	Indireto via PCI	-0.02059793
	Total	0.8799
<b>CP</b>	Direto sobre CCIP	0.8919357
	Indireto via CCI	0.1084141
	Indireto via PCI	-0.02034977
	Total	0.9800
<b>PCI</b>	Direto sobre CCIP	-0.02481679
	Indireto via CP	0.7313873
	Indireto via CCI	0.1034295
	Total	0.8100
<b>Coefficiente de determinação</b>		0.964
<b>Efeito residual</b>		0.03634441

## DISCUSSÃO

A distribuição geográfica atual de *C. cyphergaster* está concentrada nas regiões de Goiás, Bahia, Pernambuco e uma pequena parte de Minas Gerais e Ceará e esta distribuição obtida neste trabalho usando o Maxent, teve semelhanças com o modelo de distribuição geográfica potencial encontrado por Schmidt (2007) utilizando o GARP, apesar da autora ter utilizado menos pontos de ocorrência. No entanto, nesse estudo de Schmidt (2007), a distribuição dessa espécie está muito concentrada nos estados de Goiás e de Minas Gerais. As diferenças entre os modelos, assim como as diferentes previsões, são esperadas entre os modelos, já que estes são muito idiossincráticos (Nabout *et al.*, 2010). Contudo, em um estudo de Terrible *et al.*, (2010) comparando estes dois métodos, o Maxent teve um melhor desempenho no processo de modelagem.

De acordo com o estudo de Nabout *et al.*(2013) a utilização somente de componentes ambientais para compreender a distribuição geográfica de *C. cyphergaster* é insuficiente, uma vez que a distribuição das espécies de plantas podem influenciar a ocorrência dessa espécie de cupim. Por isso, foram selecionadas oito espécies de plantas citadas anteriormente, as quais são muito utilizadas na construção dos cupinzeiros e pode-se perceber o quanto a distribuição geográfica potencial dessas plantas contribui para compreender a distribuição de *C. cyphergaster*. As plantas tiveram uma ampla distribuição geográfica ocupando grande parte do Cerrado e da Caatinga e percebe-se que a distribuição de *C. cyphergaster* está sobreposta pela distribuição das plantas. Entretanto, outras regiões como São Paulo e Mato Grosso, tem somente a ocorrência das plantas, o que indica uma possível ocupação do cupim nessas regiões, já que as principais espécies arbóreas na qual o cupim nidifica, ocupam essas regiões.

No entanto, de acordo com os dados de Brasil (2011 a) até o ano de 2010, o Cerrado já havia perdido 48,54% da sua vegetação, corroborando com os estudos de Machado *et al.*, (2004), quando afirmaram que o Cerrado perde anualmente 2,2 milhões de hectares de áreas nativas e se essa tendência permanecer, no ano de 2030 não haverá mais Cerrado. A Caatinga também tem sido bastante devastada pelo homem, e segundo estudos de Brasil (2011b) até o ano de 2009 a Caatinga já havia perdido 45,6% da sua vegetação e se a cada ano a área desse bioma for diminuindo cada vez mais, poderá levar ao desaparecimento de algumas espécies endêmicas.

As plantas hospedeiras contribuem com 96,3% da distribuição potencial de *C. cyphergaster*, enquanto que o clima contribui com apenas 3,7%. Isso mostra o quanto a

interação cupim-planta é importante, sendo que a espécie de planta *A. pyrifolium* Mart. é a mais importante para o cupim, contribuindo com 58,9% da sua distribuição. Isso ocorre provavelmente devido a maior adequabilidade climática para ambas as espécies em determinadas regiões, ou seja, os locais que correspondem ao ótimo das condições ambientais de *C. cyphergaster* devem também corresponder ao ótimo das condições ambientais para *A. pyrifolium* Mart., aumentando, desta forma, a disponibilidade de local para a construção do ninho nessa espécie de planta.

A importância da interação foi demonstrada pela análise de caminhos, que mostrou que o modelo CP apresentou uma maior correlação com o modelo CCIP, indicando que as plantas são as principais determinantes na distribuição de *C. cyphergaster*. O modelo PCI também apresentou uma alta correlação com o modelo CP, mostrando mais uma vez que a distribuição das plantas afetam consideravelmente a distribuição do cupim. Sendo assim, fica evidente a importância da inclusão da interação nos modelos de distribuição potencial das espécies corroborando com o estudo de Heikkinen *et al.* (2007) que afirmam que as interações bióticas podem melhorar o desempenho e influenciar os modelos de distribuição de espécies em macro escalas e segundo Giannini *et al.* (2012) também em escalas regionais. Além disso, vários estudos (Pellisier *et al.*, (2010); Giannini *et al.*, (2012); Godsoe *et al.*, (2009); Santos (2013); Redfern *et al.*, (2006); Heikkinen *et al.*, (2007); McPherson & Jetz (2007); Leathwick & Austin, (2001) e Nabout *et al.*,(2013)) mostraram e ressaltaram a importância de se incluir a interação biótica nos modelos de distribuição potencial, uma vez que aumenta o poder de previsão dos modelos.

O modelo PCI apresentou um efeito direto negativo sobre a variável dependente, o modelo CCIP, o que indica que tal correlação foi causada pelos efeitos indiretos, e o modelo CP foi o que apresentou a maior contribuição via indireta. De modo geral, os modelos CP, CCI e PCI diferiram em seu grau de influência sobre o modelo CCIP. Entre eles, o modelo CP foi o que teve maior efeito positivo, o que indica a presença de causa e efeito, ou seja, a distribuição potencial das plantas é a que mais influencia na distribuição potencial do cupim. Entretanto, o clima também é importante, já que os modelos CCI e PCI tiveram alto efeito indireto sobre o modelo CP. Conforme Cruz & Carneiro (2003) *apud* Aguiar *et al.*, (2010) os caracteres que apresentam efeito direto no mesmo sentido da correlação com o caráter principal, indicam presença de causa e efeito, sugerindo que o caráter independente é o principal determinante das alterações no caráter dependente. Os coeficientes de caminho explicaram bem a construção do modelo CCIP, como mostra o alto valor do coeficiente de determinação do modelo ( $R^2=0.964$ ) e pelo pequeno efeito residual (0.036), indicando que as

variáveis independentes explicaram grande parte da variação da variável dependente. Dessa forma fica ainda mais evidente, a dependência da distribuição de *C. cyphergaster* com a distribuição das plantas estudadas.

As espécies estudadas, tanto o cupim quanto as plantas, são comuns e frequentes no Cerrado e na Caatinga, então, a perda dos biomas ameaça as espécies. Com isso, é preciso incluir medidas de conservação tanto para *C. cyphergaster* quanto para as plantas hospedeiras, uma vez que haverá grande redução da distribuição geográfica de ambos.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou a distribuição de oito espécies de plantas associadas ao cupim *C. cyphergaster* para compreender melhor a distribuição geográfica dessa espécie e mostrou que a inclusão da interação biótica como variável nos modelos de distribuição potencial podem melhorar os modelos, mostrando a correlação entre os padrões de distribuição das espécies. Além disso, foi mostrado como as projeções dos impactos das mudanças climáticas sobre os modelos de distribuições das espécies são sensíveis à interação biótica.

É importante salientar que se espera uma redução na distribuição geográfica das espécies em cenários futuros de mudanças climáticas, sendo assim, torna-se importante delinear estratégias para a conservação dessas espécies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMAN, I.L. *et al.* The impact of mound-building termites on surface soil properties in a secondary forest of Central Amazonia. *Applied Soil Ecology*, v. 37, n. 3, p. 267-276, 2007.
- AGUIAR, A.T.E. *et al.* Correlações e análise de trilha em clones de seringueira. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 57, n.5, p. 602-607, 2010.
- AKINTUDE, A.N. Path Analysis Step by Step Using Excel. *Journal of Technical Science and Technologies*, v.1, n.1, p.9-15, 2012.
- ARAÚJO, M.B., LUOTO, M. The importance of biotic interactions for modeling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, v.16, p.743–753, 2007.
- AUSTIN, M.P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. *Ecological Modelling*, v.157, p.101-118, 2002.
- BARBOSA, F. G. *Modelos de distribuição de espécies invasoras: tendências e aplicações*. 2011. 127 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Brasil, 2011.
- BEZERRA-GUSMÃO, M.A. *et al.* Are nests of *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae) important in the C cycle in the driest area of semiarid caatinga in northeast Brazil? *Applied Soil Ecology*, v. 47, p. 1-5, 2011.
- BEZERRA-GUSMÃO, M.A. *História natural de Constrictotermes cyphergaster (Silvestri, 1901) (Isoptera; Termitidae) em uma área de Caatinga do Cariri paraibano, no nordeste do Brasil*. 2008. 141f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

BEZERRA-GUSMÃO, M.A. *et al.* Nest dynamics of *Constrictotermes cyphergaster* (Termitidae, Nasutitermitinae) and its association with the supporting vegetation in a semiarid area, northeast, Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 91, p. 1-6, 2013.

BRANDÃO D, & SOUZA R.F. Effects of deforestation and implantation of pastures on the termite fauna in the Brazilian Cerrado region. *Tropical Ecology*, v.39, n.2, p.175-178, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Monitoramento do bioma Cerrado. Brasília: MMA, 2011 a. 65 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite. Monitoramento do bioma Caatinga. Brasília: MMA, 2011 b. 46 p.

CONSTANTINO R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma cerrado. p. 319-333 *In: Scariot et al.* (Eds.) Biodiversidade, Ecologia e Conservação do Cerrado. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2005.

CUNHA H.F. *et al.* Relationship between *Constrictotermes cyphergaster* and inquiline termites in the Cerrado (Isoptera, Termitidae). *Sociobiology*, v.42, n.3, p.761- 770, 2003.

CUNHA, H.F., BRANDÃO, D. Invertebrates associated with the neotropical termite *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). *Sociobiology*, v. 37, n.3B, p.593-599, 2000.

van DAM, N. M. How plants cope with biotic interactions. *Plant Biology*, v.11, p.1–5, 2009.

ELITH J *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, v. 29, p.129-151, 2006.

FRANKLIN, J. 2009 *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.

GIANNINI, T.C. *et al.* Improving species distribution models using biotic interactions: a case study of parasites, pollinators and plants. *Ecography*, v. 35, p. 001–008, 2012.

GODSOE, W. *et al.* Divergence in an obligate mutualism is not explained by divergent climatic factors. *New Phytologist*, v.183, p. 589–599, 2009.

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

GUTIÉRREZ, D. *et al.* Habitat distribution models: are mutualist distributions good predictors of their associates? *Ecological Applications*, v.15, p.3–18, 2005.

HANSPACH, J. *et al.* Predictive performance of plant species distribution models depends on species traits. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v.12, n.3, p.219–225, 2010.

HEIKKINEN, R.K. *et al.* Biotic inter-actions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, v.16, p.754–763, 2007.

HIJMANS, R.J. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965–1978, 2005.

HOF, A.R.; JANSSON, R. & NILSSON, C. The usefulness of elevation as a predictor variable in species distribution modeling. *Ecological Modelling*, v.246, p.86–90, 2012.

HOLT, J.A. & LEPAGE, M. Termites and soil properties, p. 389–407. *In: Abe et al.* (Eds.) *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Kluwer Academic Publishers, p. 466, 2000.

KARL T. R; TRENBERTH K. E. What is Climate Change? *In: LOVEJOY, J. E; HANNAH, L. J. Climate Change and Biodiversity*. New Haven: Yale University Press. p. 15–30. 2005.

- KORB, J. & LINSÉNMAIR, K.E. The causes of spatial patterning of mounds of a fungus-cultivating termite: results from nearest-neighbour analysis and ecological studies. *Oecologia*, v.127, n.3, p. 324-333, 2001.
- LAWTON, J.H. The Role of Species in Ecosystems: Aspects of Ecological Complexity and Biological Diversity. In: ABE, T.; LEVIN, S.A.; HIGASHI M. (Eds.). *Biodiversity: an ecological perspective*. New York: Springer, 1997. p. 215-228.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. *Numeral Ecology*, 2nd Edition, Ed. Elsevier, Amsterdam.
- LEITE, G.L.D. *et al.* Factors Affecting *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera: Termitidae) Nesting on *Caryocar brasiliense* Trees in the Brazilian Savanna. *Sociobiology*, v. 57, n. 1, 2011.
- LEATHWICK, J. R. & AUSTIN, M.P. Competitive interactions between tree species in new zealand's old-growth indigenous forests. *Ecology*, v. 82, n. 9, p. 2660 – 2573, 2001
- LIMA-RIBEIRO, M.S. *et al.* Associação de *Constrictotermes cyphergaster* Silvestri (Isoptera: Termitidae) com espécies arbóreas do Cerrado brasileiro. *Neotrop. Entomol.*, v. 35, n.1, p.49-55, 2006.
- LIMA-RIBEIRO, M.S. & DINIZ-FILHO, J.A.F. Modelando a distribuição geográfica das espécies no passado: uma abordagem promissora em paleoecologia. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v.15, n.3, p.371-385, 2012.
- LIMA-RIBEIRO, M.S. & DINIZ-FILHO, J.A.F. Modelos ecológicos e a extinção da megafauna: clima e homem na América do Sul. 1 ed. São Carlos: Cubo, 2013. v.1000, 155 p.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Nutrient dynamics (C, N e P) in termite mounds of *Nasutitermes ephratae* from savannas of the Orinoco Llanos (Venezuela). *Soil Biology and Biochemistry* v. 33, p. 747-753, 2001.

MACHADO, R.B. *et al.* Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF, 2004.

McPHERSON, J.M. & JETZ, W. Effects of species' ecology on the accuracy of distribution models. *Ecography*, v. 30, p. 135-151, 2007

EIER, E.S. *et al.* Biotic and abiotic variables show little redundancy in explaining tree species distributions. *Ecography*, v.33, p.1038–1048, 2010.

MENDIBURU, F. Agricolae-package: Statistical procedures for agricultural research. 2012. <http://127.0.0.1:28827/library/agricolae/html/agricolae-package.html>

MOURA, F.M.S. *et al.* Feeding Habit of *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae) in an Area of Caatinga, Northeast Brazil. *Sociobiology*, v.48, n.2, 2006a.

MOURA F.M.S. *et al.* Seasonality in foraging behaviour of *Constrictotermes cyphergaster* (Termitidae, Nasutitermitinae) in the Caatinga of Northeastern Brazil. *Insectes Sociaux*, v.53, 2006b.

MOURA, F.M.S.; VASCONCELLOS, N.B.; BANDEIRA, A.G. Caste development systems of the Neotropical termite *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae). *Insectes Sociaux*, (58):169–175, 2010.

NABOUT, J. C. *et al.* Combining multiple models to predict the geographical distribution of the Baru tree (*Dipteryxalata* Vogel) in the Brazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Biology*, 70:911-919, 2010.

NABOUT, J. C. *et al.* Mudanças climáticas globais e distribuição geográfica de espécies: modelo de nicho aplicado a uma espécie de cupim e de árvore do Cerrado. In: SILVA, S.D. *et al.* (Org.). *Fronteira Cerrado: sociedade e natureza no oeste do Brasil*. Goiânia: Ed. da PUC Goiás / Gráfica e Editora América, 2013. p. 213-224.

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

PELLISSIER, L. *et al.* Species distribution models reveal apparent competitive and facilitative effects of a dominant species on the distribution of tundra plants. *Ecography*, v. 3, p.1004–1014, 2010.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P. & SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190:231-259, 2006.

RANGEL, T.F. & LOYOLA, R.D. Labeling ecological niche models. *Natureza & Conservação*, v.10, p.119–126, 2012.

REDFERN, J.V. *et al.* Techniques for cetacean–habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*, v. 310, p. 271–295, 2006

SANTOS, T. *Importância das interações bióticas na distribuição geográfica das espécies e suas aplicações em modelos de distribuição potencial*. 2013. 92f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SCHMIDT, K. Distribuição potencial de espécies de Isoptera e conservação do Cerrado. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, D.P. *et al.* Seeking the flowers for the bees: Integrating biotic interactions into niche models to assess the distribution of the exotic bee species *Lithurgus huberi* in South America. *Ecological Modelling*, v. 273, p.200– 209, 2014.

SILVA, L.O. *et al.* An association between *Constrictotermes cyphergaster* nests (Isoptera, Termitidae) and tree species in Serra de Caldas Novas - State of Goiás, Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, v.11, n.1/2, p.66-71, 2007.

SOBERÓN, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, v.10, p.1115-1123, 2007.

SOBERÓN, J. & PETERSON, A.T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, v.2, p.1-10, 2005.

SOUZA, T.V. Aspectos estatísticos da análise de trilha (Path analysis) aplicada em experimentos agrícolas. 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2013.

STOELTING, R. E. Structural Equation Modeling/ Path Analysis. [web application]. 2002. Disponível em: <http://userwww.sfsu.edu/~efc/classes/biol710/path/SEMwebpage.htm>. Acesso em: 16/11/2014.

TERRIBILE, L.C., DINIZ-FILHO, JAF. & DE MARCO JR., P. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. *Braz. J. Biol.*, v. 70, n. 2, p. 263-269, 2010.

TERRIBLE, L. C. *et al.* Areas of climate stability of species ranges in the Brazilian cerrado: disentangling uncertainties through time. *Natureza & Conservação*, v. 10, n. 2, p.152-159, 2012.

TORALES, G. J. *et al.* Update on taxonomy and distribution of Isoptera from Argentina. *Sociobiology*, v. 45, n. 3, p. 853-886, 2005.

VASCONCELLOS, A.; ARAÚJO, V.F.P.; MOURA, F.M.S; BANDEIRA, A.G. Biomass and population structure of *Constrictotermes cyphergaster* Silvestri (Isoptera: Termitidae) in the dry forest of Caatinga, northeastern Brazil. *Neotropical Entomology*, v.36, n. 5, p.693-698, 2007.

WISZ, M.S. *et al.* The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biol. Rev.* v. 88, p. 15–30, 2013.