

Modelos de distribuição de duas espécies arbóreas do Pantanal com pacotes climáticos do Quaternário

Mariele Torgeski¹
Kelvin Felix Barbosa¹
Alan Sciamarelli¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCBA
Caixa Postal 322 - 79825-070 – Dourados - MS, Brasil
marieletorgeski@outlook.com;
kelvin.felix@hotmail.com;
alansciamarelli@hotmail.com;

Resumo: Os pacotes climáticos das eras passadas tem contribuído para o estudo da biogeografia das espécies vegetais. *Mauritia flexuosa* L. f. espécie arbórea que ocupada ambientes úmidos e solos ácidos. *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S.Moore, é uma espécie de ocorrência monodominante no Pantanal, gerando áreas extensas denominadas localmente como “paratadal”. Foram gerados modelos da distribuição potencial de ambas as espécies com conjunto de dados climáticos do Último Máximo Glacial (ca. 22.000 anos AP), Médio Holoceno (ca. 6.000 anos AP) e cenário atual em duas versões Worldclim 1.4 e 2.0, gerados e avaliados pelo algoritmo do programa MaxEnt, o qual associa a informação geográfica de pontos de ocorrência com variáveis ambientais do presente e de eras geológicas passadas. Modelos de distribuição potencial com pacotes climáticos do presente na versão 2.0 apresentaram áreas de adequabilidade ambiental maiores que na versão 1.4. Nos períodos Médio Holoceno e Último Máximo Glacial as áreas de adequabilidade ambiental se mostraram maiores que no presente na versão 2.0. Muitos trabalhos sobre variações climáticas no continente sul-americano confirmam as sugestões do modelos propostos. As espécies apresentaram distribuição potencial de acordo com a história biogeográfica da América do Sul.

Palavras-chave *Mauritia flexuosa*, *Tabebuia aurea*, distribuição de espécies, médio holoceno e último máximo glacial.

Abstract. The climatic packages of past ages have contributed to the study of biogeography of plant species. *Mauritia flexuosa* L. f. arboreal species that occupied humid environments and acid soils. *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S.Moore, is a monodominant species in the Pantanal, generating extensive areas denominated locally as “paratidal”. The models of the potential distribution of both species with climatic data set of the Last Glacial Maximum (ca. 22,000 years AP), Holocene Medium (ca. 6000 years AP) and current scenario in two versions Worldclim 1.4 and 2.0, generated and evaluated by the algorithm of the MaxEnt program, which associates geographic information of points of occurrence with environmental variables of the present and past geological ages. Potential distribution models with climatic packages of the present version 2.0 presented areas of environmental suitability greater than version 1.4. In the Holocene Middle and Late Glacial Maximum periods the areas of environmental suitability were higher than at present in version 2.0. Many works on climatic variations

Introdução
O Pantanal constitui-se uma das maiores extensões de terras alagadas, a região é uma planície aluvial influenciada por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai, caracterizado por enchentes cíclicas. No Brasil, o Pantanal está localizado nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul compreendendo uma área de cerca de 168.000 km² sendo o restante de sua área situada em território boliviano e paraguaio (Carvalho 1986).

Segundo Noss, o estudo da vegetação é um dos indicadores sobre o estado de conservação da biodiversidade, já que fragmentação de habitats atua como a principal responsável pela perda da biodiversidade em ecossistemas florestais (Gardner et al. 2009). Porém nem sempre é possível obter registro de ocorrência, pois a distribuição real completa é difícil de ser obtida em virtude de fatores que impossibilitam a realização de inventários exaustivos (Schmidt 2007).

O conhecimento da vegetação é um importante indicador sobre a biodiversidade e do estado de conservação de uma determinada região (Noss 1990), porém nem sempre é possível obter registro de ocorrência, pois a distribuição real completa é difícil de ser obtida em virtude de fatores que impossibilitam a realização de inventários exaustivos (Schmidt 2007).

Além de produzir modelos de distribuição potencial em análises biogeográficas, a modelagem pode ser útil para o estudo da conservação de espécies raras ou ameaçadas, reintrodução de espécies, perda de biodiversidade, impactos de mudanças climáticas, avaliação do potencial invasivo de espécies exóticas, estudo das possíveis rotas de disseminação de doenças infecciosas, auxílio na determinação de áreas prioritárias para conservação, entre outros (Giannini et al. 2012).

A abordagem de modelagem de nicho ecológico (ENM), juntamente com paleoclimática simulações tem sido cada vez mais aplicada para prever a paleodistribuição de escalas regionais e globais (Nogués-Bravo 2009; Varela et al. 2011; Svenning et al. 2011). Além disso, tem sido usado para testar hipóteses biogeográficas, como Dinâmica da distribuição geográfica de espécies extintas e existentes através do último ciclo glacial (Martínez-Meyer e Peterson 2006; Nogués-Bravo et al. 2008; Waltari e Guralnick 2009; Varela et al. 2010).

O presente estudo teve como objetivo avaliar as variações sugeridas pelos modelos gerados com dados dos pacotes climáticos do Último Máximo Glacial, Médio Holoceno e presente de duas espécies de arbóreas comuns no Pantanal em Mato Grosso do Sul, com base em acervo dos herbários virtuais.

2. Material e Métodos

Mauritia flexuosa L. f. espécie arbórea que preferencialmente ocupada ambientes úmidos e solos ácidos ficando confinada a leste do Pantanal, sendo citada como uma espécie de Biomas de Cerrado e Amazônico, contudo típica das regiões conhecidas como “buritizais” (Pott e Pott 2009). Habita os terrenos baixos alagáveis (igapós), às margens de rios e igarapés, formando os característicos miritizais ou buritizais (Ferreira 2005).

Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook.f.ex S.Moore, é uma espécie pioneira e de ocorrência monodominante no Pantanal, gerando áreas extensas denominadas localmente como “paratadal” mesmo sendo encontrada em outros Biomas (Prado et al.1992, Pott e Pott 2009, Leitman et al 2015 e Lohmann 2018).

Para a obtenção dos dados de localização geográfica de presença das coletas (dados bióticos) e posterior modelagem da distribuição de espécies, foram utilizados dados dos herbários cadastrados no *Specieslink* (<<http://www.splink.org.br>> em 30 de março de 2018) e registros de viagens a campo. Totalizando para *M. flexuosa* 177 registros de ocorrência e para *T. aurea* 300 registros.

Os dados do Médio Holoceno (MH - ca. 6.000 anos AP) e o cenário atual no sítio Worldclim (<<http://www.worldclim.org>> em 30 de março de 2017), foram utilizadas do tempo presente, 67 variáveis bioclimáticas da versão *WorldClim* 1.4, com uma resolução espacial de 5 km, que refletem vários parâmetros da temperatura, precipitação e sazonalidade que possam ser importantes para determinar a distribuição das espécies, para o período do Médio Holoceno (MH) foram utilizadas 170 variáveis e no último máximo glacial (UMG) foram empregadas 55 variáveis na mesma resolução espacial (Hijmans et al. 2005). Além de 67 variáveis bioclimáticas do tempo presente na versão *WorldClim* 2.0 (Fick e Hijmans 2017). As camadas bioclimáticas foram extraídas numa amplitude onde abrangeu toda América do Sul.

A modelagem consiste em um processamento computacional que associa a informação geográfica de pontos de ocorrência (dados bióticos) com variáveis ambientais (dados abióticos) do presente e do passado, o que gera uma representação das condições requeridas pelas espécies. O uso de algoritmos tem sido aplicado para criar modelos que representam essas condições e que podem ser projetados sobre um mapa que exhibe as áreas potenciais de ocorrência dessas espécies (Giannini et al. 2012).

Os *shapes* das regiões ecológicas foram obtidos na *The Nature Conservancy (TNCMaps)* (<http://maps.tnc.org/gis_data.html#TerrEcos> em outubro de 2016)

Mauritia flexuosa é um importante indicador de áreas úmidas do Pantanal, e é encontrado no Paraguai e Brasil, geralmente em fisionomias de Chaco arborizado (Pott et al. 2011).

Os modelos foram processados através do algoritmo *Maxent* (Max) contido no aplicativo livre e de código aberto *Maxent* versão 3.4.1 (Phillips et al 2018). Para avaliar a qualidade dos modelos gerados, foi utilizado um conjunto de dados independente para cada uma das possibilidades testadas em dois conjuntos de formação (70% teste e 30% de treino) selecionados pelo próprio algoritmo.

Os resultados foram organizados com sistema de informação geográfica (SIG) no software livre QGIS 3.03.

3. Resultados e Discussão

Para ambas as espécies os modelos gerados apenas com dados do *Bioclim* versão 1.4 no presente, apresentaram áreas menores de adequabilidade ambiental que os modelos gerados com os dados do grupo de variáveis *Bioclim* versão 2.0. **Figura 1, 2, 3 e 4.**

No caso do MH e do UMG os modelos gerados sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que o presente (*Bioclim* versão 2.0). Essas áreas maiores podem ser observadas no sentido sudoeste nordeste da América do Sul e em algumas regiões da Amazônia brasileira e sul americana.

Rossetti et al em (2017) concluíram que houveram mudanças climáticas e vegetacionais na Amazônia através de isótopos de carbono que podem confirmar as sugestões dos modelos propostos. Essas modificações climáticas do passado alteraram significativamente a temperatura e humidade do continente, alterando a ocupação das espécies vegetais.

Mauritia flexuosa apresenta uma ampla distribuição pela América do Sul e mais concentrada na região central do Brasil, além de apresentar registros de ocorrência no Nordeste e Norte do Brasil e na Amazônia pela América do Sul. Os registros de ocorrência são influenciados pela dificuldade de coleta do material e falta de investimento nos levantamentos da Flora do Brasil. **Figura 1 e 2.**

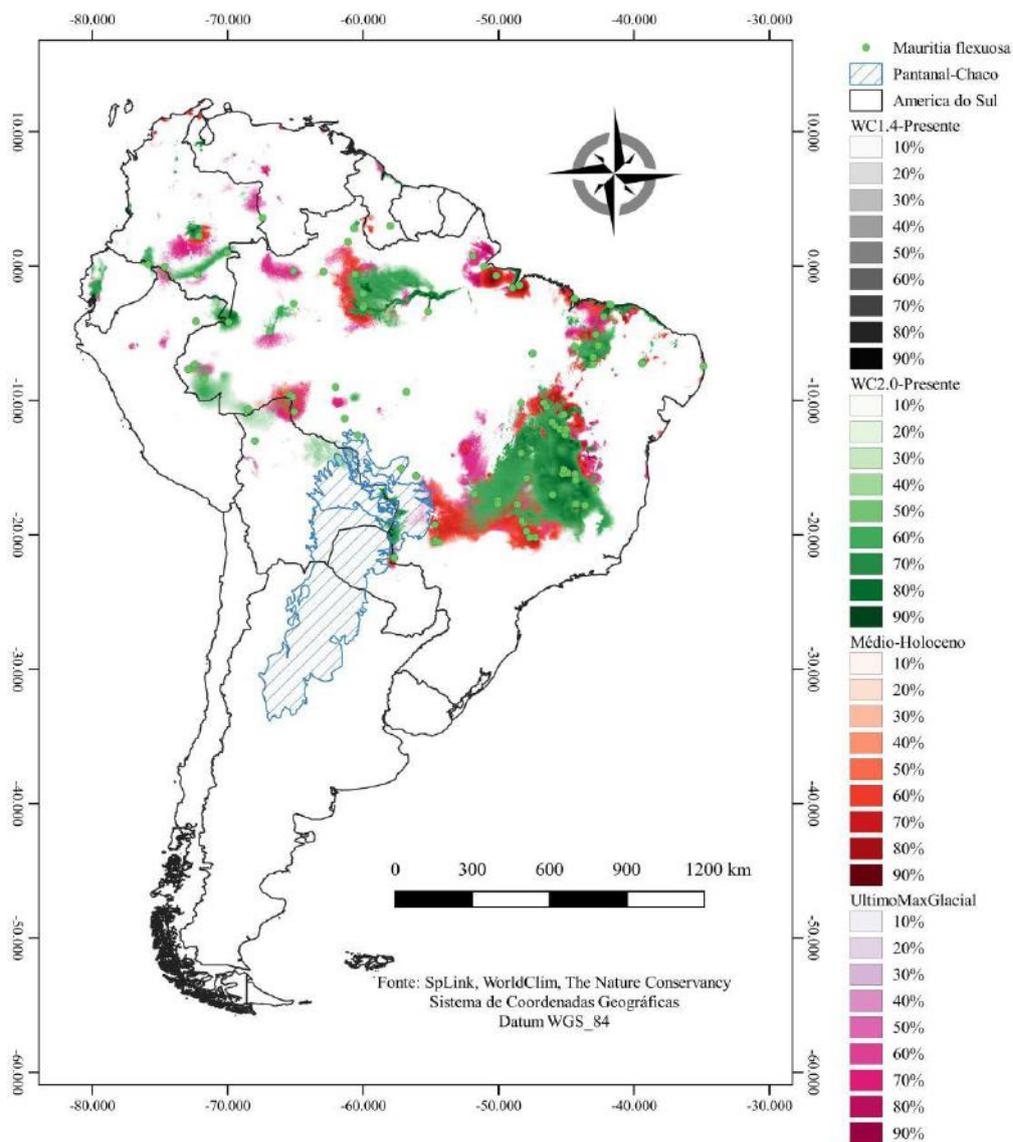


Figura 1. Ocorrências de *Mauritia flexuosa* L. f. e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial pela América do Sul.

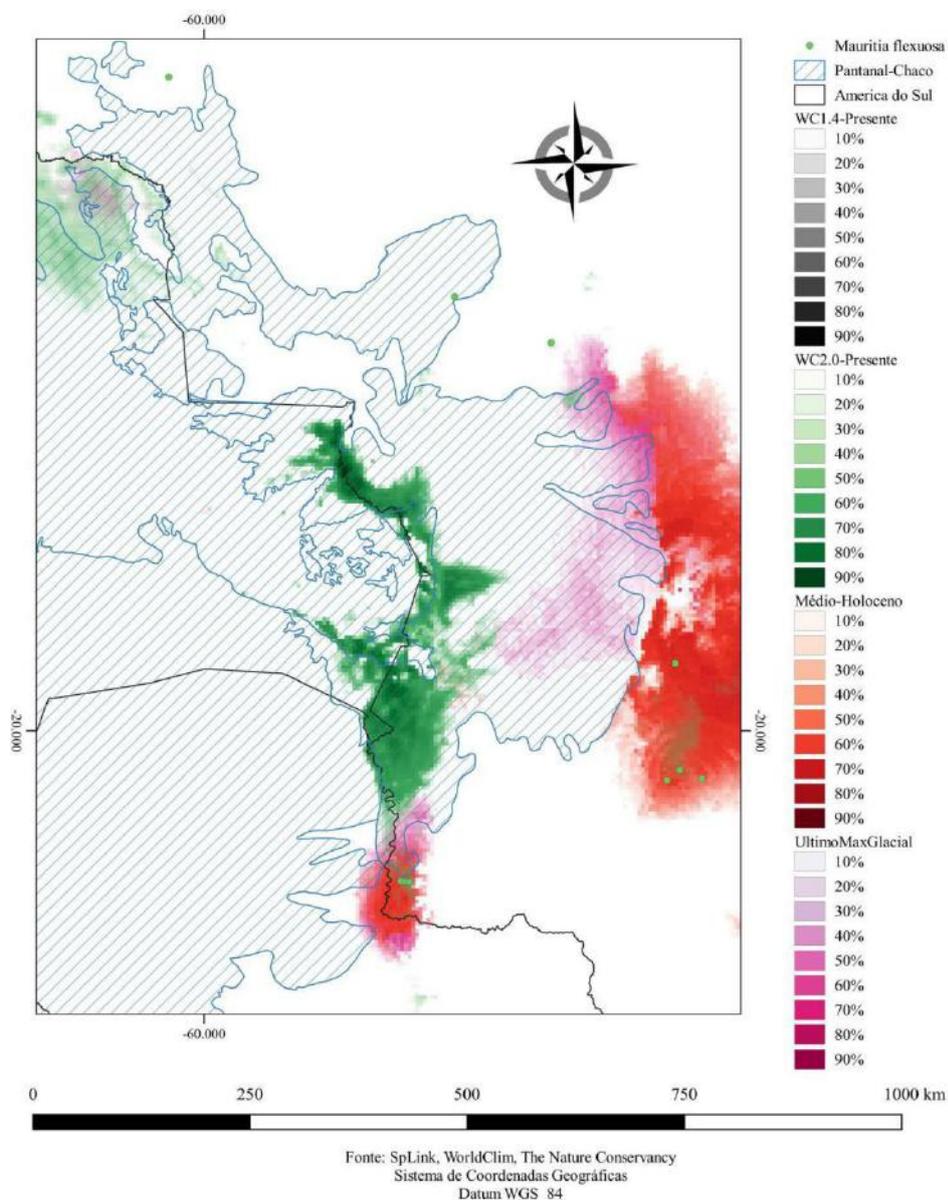


Figura 2. Ocorrências de *Mauritia flexuosa* L. f. e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial no Pantanal áreas de parte do Chaco.

Para todos os modelos gerados em todos os períodos o AUC de *Mauritia flexuosa* foi de 0,96. Os valores de AUC dão uma estimativa de quão bem o modelo distingue a ocorrência das espécies de locais aleatórios, e modelos com valores acima de 0,75 são considerados potencialmente úteis (Elith et al. 2011).

No destaque da região pantaneira, *Mauritia flexuosa* não apresenta muitos registros, contudo a modelagem sugere áreas de adequabilidade ambiental favoráveis a ocupação. Além de sugerir que havia possibilidades de ambientes favoráveis a uma expansão da ocupação pelo Pantanal em direção Sul e Leste no MH e UMG.

Tabebuia aurea é uma espécie que tem uma alta capacidade de adaptação em ambientes pois apresenta uma distribuição por diversos Biomas. Os registros de ocorrência também são concentrados por locais onde há algum financiamento para pesquisa de Flora local, contudo muitas regiões do Brasil de na América do Sul são carentes de investimento para coletas e pesquisas. Por isso, a distribuição dos registros é mais concentrada numa diagonal ente o Pantanal até o Nordeste brasileiro preferencialmente. **Figura 3 e 4.**

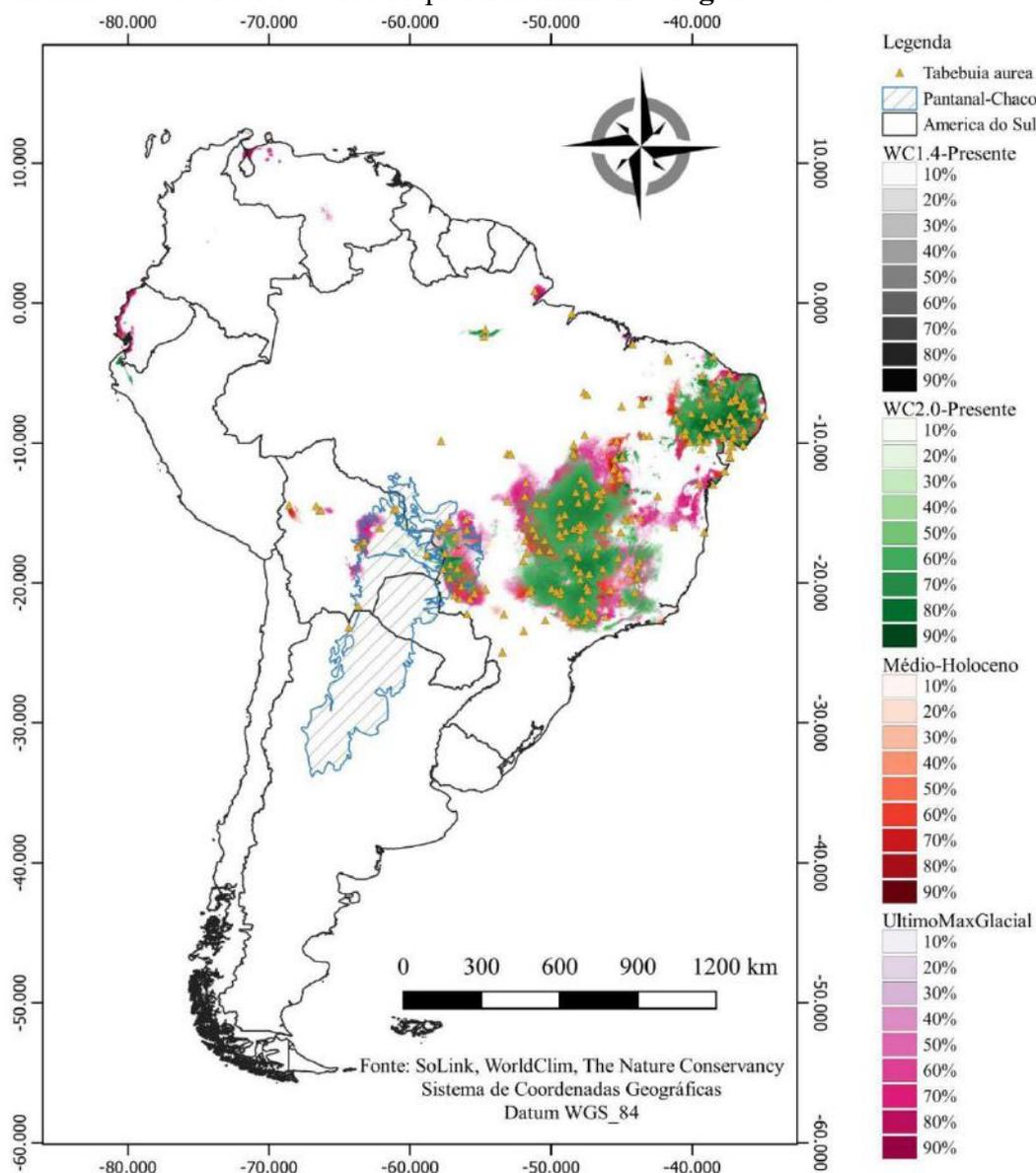


Figura 3. Ocorrências de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial na América do Sul.

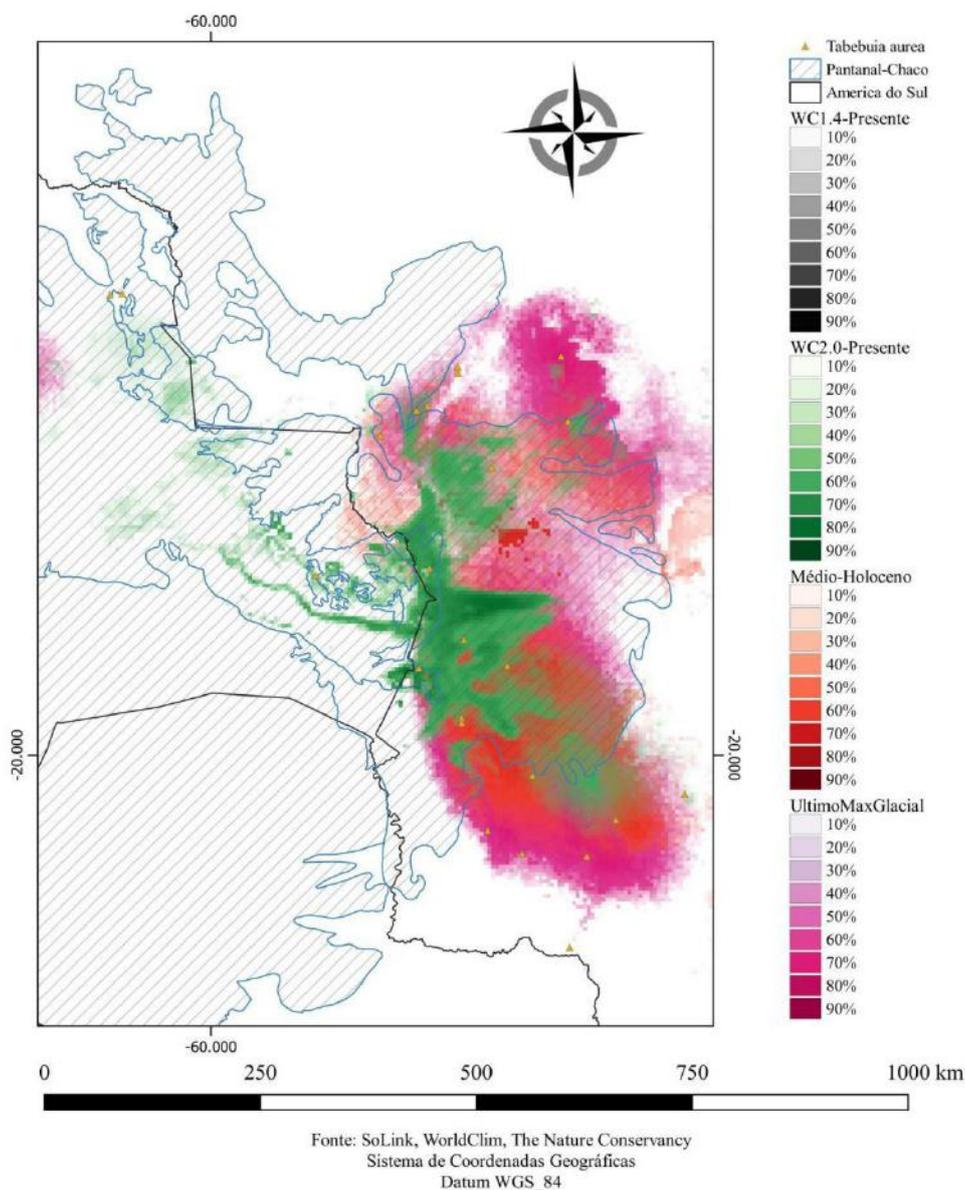


Figura 4. Ocorrências de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial no Pantanal e áreas de parte do Chaco.

Para todos os modelos gerados em todos os períodos o AUC de *Tabebuia aurea* foi de 0,90. *Tabebuia aurea* no Pantanal apresenta mais registros que *Mauritia flexuosa* e por isso as áreas de adequabilidade ambiental são maiores. Nos períodos do MH e UMG a modelagem sugere que haviam possibilidades de ambientes favoráveis a uma expansão da ocupação pelo Pantanal em direção Norte e sentido Leste-Oeste.

Os modelos propostos para a espécie evidenciam baixa distribuição ao sul do continente, pois as áreas meridionais estavam em processo de formação, sem predominância de áreas inundadas e temperaturas extremas (Kruck et al. 2011).

Pelos modelos gerados, a distribuição é condizente com a história biogeográfica da formação da diagonal das áreas secas (Carvalho e Almeida 2011).

Mesmo num cenário de mudanças climáticas atualmente para ambientes mais secos e com uma perspectiva do Pantanal se tornar desértico, a tendência é a savana florestada (Pott 2000).

4. Conclusões

Há uma diferença entre os pacotes climáticos *Worldclim* nas versões 1.4 e 2.0 do presente, pois as áreas de adequabilidade ambiental dos modelos sugeridos são diferentes. As variáveis climáticas do MH e UMG apresentaram áreas de adequabilidade ambiental diferentes ressaltando as diferenças climáticas dos períodos segundo a distribuição das ocorrências das espécies.

Em ambas as espécies os modelos nos períodos passados (MH e UMG) sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que no presente, sugerindo que possivelmente haviam ambientes favoráveis a expansão da ocorrência das duas espécies pelo Pantanal e Chaco.

A concentração dos registros de ocorrência de ambas as espécies, pode atrapalhar a construção dos modelos, como observado em *Tabebuia aurea*.

Os modelos sugeridos no MH para *Mauritia flexuosa* mostram áreas de adequabilidade ambiental na região do Pantanal e Chaco descontínuas. No UMG há uma continuidade maior de probabilidades de ocorrência de áreas de adequabilidade ambiental pelo Pantanal e Chaco.

Os modelos sugeridos no MH para *Tabebuia aurea* apresentam áreas de adequabilidade ambiental na região do Pantanal e Chaco contínuas. No UMG, como em *Mauritia flexuosa*, os modelos sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que o MH e o presente.

Tabebuia aurea por apresentar mais registros de ocorrência pelo Pantanal também apresenta maiores áreas de adequabilidade ambiental no presente e passado.

Muitos trabalhos confirmaram que os pacotes climáticos das eras passadas são eficientes em refletir o ambiente nessas eras geológicas.

Este e outros trabalhos contribuem para as políticas de preservação ambiental que possam planejar e propor áreas de proteção que mitiguem a perda da diversidade atual.

5. Referências Bibliográficas

Carvalho, N. O. Hidrografia da bacia do alto Paraguai. in: **I Simpósio Sobre Recursos Naturais E Socioeconômicos do Pantanal**. Anais do... Brasília: Embrapa, p.43-50, 1986.

Carvalho, C.J.B.; Almeida, E.A.B. eds. **Biogeografia da América do Sul: padrões e processos**. São Paulo: Roca Ltda., 2011. 310 p.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y.E.; Yates, C.J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v.17, p. 43-57, 2011.

Ferreira, M. G. R. **Buriti (*Mauritia flexuosa* L.)** Porto Velho, RO, Embrapa, 2005, p2-3.

- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p 4302-4315, 2017.
- Giannini, T.C.; Siqueira, M.F.; Acosta, A.L.; Barreto, F.C.C.; Saraiva, A.M.; Alves dos Santos, A. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguesia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005.
- Kruck, W.; Helms, F.; Geyh, M.A.; Suriano, J.M.; Marengo, H.G.; Pereyra, F. Late Pleistocene-Holocene History of Chaco-Pampa Sediments in Argentina and Paraguay. **Quaternary Science Journal**, v.60, n. 1, p 188-202, 2011.
- Leitman, P., Soares, K., Henderson, A., Noblick, L., Martins, R.C. 2015. *Arecaceae in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15723>>. Acesso em: 13 Jun. 2018.
- Lohmann, L.G. *Tabebuia in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114257>>. Acesso em: 13 Jun. 2018.
- Martínez-Meyer, E. e Peterson, A.T. Conservatism of ecological niche characteristics in North American plant species over the Pleistocene-to-Recent transition. **Journal of Biogeography**, v.33, n.1, p. 1779-1789, 2006.
- Nogués-Bravo, D. Predicting the past distribution of species climatic niches. **Global Ecology and Biogeography**, v.18, n. 5, p. 521-531, 2009.
- Nogués-Bravo, D., Ohlemüller, R., Batra, P., Araújo, M. Climate predictors of late quaternary extinctions. **Evolution; international journal of organic evolution**, v. 64, n. 8, p. 2442-2449, 2010.
- Nogués-Bravo, D.; Rodríguez, J.; Hortal, J.; Batra, P.; Araújo, M. Climate change, humans, and the extinction of the woolly mammoth. **PLoS Biology**, v.6, n. 4, p. 685- 692, 2008.
- Noss, R.F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. **Conservation Biology**, v. 4, n.4, p.355-364, 1990.
- Pott, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: Cavalcanti, T.C., Walter, B.M.T. (org.) **Tópicos atuais em Botânica**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia/Sociedade Botânica do Brasil, 2000. p. 172-182.
- Pott, A.; Oliveira, A.K.M.; Damasceno-Junior, G.A.; Silva, J.S.V. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n.1, p. 265-273, 2011.
- Prado, D.E.; Gibbs P.E. Patterns of species distribution in the dry seasonal forest of South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.80, n.1, p. 902-927, 1993.
- Rossetti, D. F., Cohen, M. C. L., Pessenda, L. C. R. . Vegetation change in southwestern Amazonia (Brazil) and relationship to the late Pleistocene and Holocene climate. **Radiocarbon**, v. 59, n. 1, p 69-89. 2017
- Schmidt, K. **Distribuição potencial de espécie de Isoptera e conservação do Cerrado**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade de Brasília, Brasília. 2007.
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2018-6-13.

Svenning, J.-C., Fløjgaard, C., Marske, K.A., Nógues-Bravo, D. e Normand, S. Applications of species distribution modeling to paleobiology. **Quaternary Science Reviews**, v.30, n. 1, p. 2930–2947, 2011.

The Nature Conservancy (TNCMaps). Disponível em: http://maps.tnc.org/gis_data.html#TerrEcos. Acesso em 03.outubro.2016.

Varela, S.; Lobo, J.M.; Rodríguez, J.; Batra, P. Were the Late Pleistocene climatic changes responsible for the disappearance of the European spotted hyena populations? Hindcasting a species geographic distribution across time. **Quaternary Science Reviews**, v.29, n.1, p. 2027-2035, 2010.

Waltari, E. e Guralnick, R.P. Ecological niche modelling of montane mammals in the Great Basin, North America: examining past and present connectivity of species across basins and ranges. **Journal of Biogeography**, v. 36, n.1, p. 148–161, 2009.