

Efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica de espécies na sub-bacia do Rio Negro

Effects of Climate Change in the Geographical Distribution of Species in the Rio Negro Sub-Basin

Wilmar Loaiza Ceron

Geógrafo, M.Sc. en Desarrollo Sustentable. Doctorado em clima e ambiente (c), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) & Universidade do Estado do Amazonas, Ciudad Manaus, Estado de Amazonas. Brasil.

Correo electrónico: wilmar.ceron@correounivalle.edu.co

Resumo: Tal como os sistemas humanos, a biodiversidade pode ser afetada pelas mudanças climáticas e pela variabilidade climática, levando em conta as mudanças de temperatura e precipitação expressas no espaço, alterando as condições dentro do habitat e determinando, assim, a distribuição das espécies. Neste sentido, foi feita a avaliação do impacto da mudança climática sobre a distribuição de duas espécies na bacia do rio Negro, especificamente nas áreas de reserva do município de Novo Airão-Amazonas, aplicando cenários de mudanças climáticas desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, por sua sigla em Inglês). O mapeamento foi realizado para espécies de importância econômica e ambiental de ecossistemas de floresta tropical no Amazonas: *Gymnotus Carapo* (Sarapó) e *Cichla sp.* (Tucunaré); comparando a sua distribuição potencial atual com o esperado nos cenários 2050 e 2070 para o RCP 8.5 (Caminho representativo de concentração). Este objetivo foi alcançado através da aplicação do MaxEnt, programa que modela a distribuição geográfica das espécies, utilizando apenas dados locais de presença e variáveis bioclimáticas associadas a cada um desses pontos de presença.

Palavras chaves: biodiversidade, mudanças climáticas, distribuição de espécies, Amazonas.

Recibido: mayo 2018

Abstract: As in the case of human systems, biodiversity can be affected by climate change and climate variability. The effect takes place through variations in temperature and precipitation expressed in space, which change habitat conditions, and determine, thereby, the distribution of species. In this sense, an analysis of climate change impacts on the distribution of two species in the Rio Negro basin was made, specifically in the reserve areas of the municipality of Novo Airão-Amazonas, by applying climate change scenarios developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The mapping was carried out for species of economic and environmental importance in tropical forest ecosystems: *Gymnotus Carapo* (Sarapó) and *Cichla sp.* (Tucunaré); comparing its current potential distribution with scenarios projections for 2050 and 2070, for the Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5. This goal was achieved by applying MaxEnt free software, which models geographic species distribution using only local presence data and bioclimatic variables associated with each of these points of presence.

Keywords: biodiversity, climate change, species distribution, Amazonas.

Aceptado: junio 2018

Introdução

Os seres humanos enfrentam um grande desafio hoje para compreender e agir sobre a transformação do planeta e os impactos sobre os territórios locais. O clima é um fator dinâmico que está alertando sobre as mudanças nos padrões de produção e como viver em sociedade. Cada vez mais, os territórios estão com mais expectativas de crescimento econômico e desenvolvimento, mas isso é importante colocar os diferentes cenários de mudança climática para planejar as atividades. Conseqüentemente, espera-se que os eventos da variabilidade do clima, como El Niño Oscilação do Sul (ENOS), aumentarão em frequência e intensidade, causando grandes impactos sobre a população e as atividades humanas em situações vulneráveis, envolvendo riscos significativos, dada a ocorrência de fenômenos climáticos desencadeadas pela variabilidade. Estes fenômenos, se não foram tratados podem manifestar-se nos desastres, causando perdas humanas, ambientais e materiais (CEPAL, 2005; IPCC, 2015, 2014, 2012, 2001; Capel, 1999; Burton et al., 1978).

Como os sistemas humanos, a biodiversidade pode ser afetada pela alteração das mudanças e a variabilidade climática, tendo em conta as variações de temperatura e precipitação expressas no espaço, alterando as condições dentro do habitat e determinando, assim, a distribuição das espécies (IPCC, 2013; Felizola et al., 2009; Siqueira et al., 2009). Neste sentido, e sob o conceito de que o território é um sistema inter-relacionado em que convergem os seres humanos e natureza, é relevante a análise dos impactos que podem surgir a qualquer dos seus elementos para compreender possíveis desequilíbrios no sistema e, assim, concentrar os esforços de gestão para adotar as medidas de adaptação. Concretamente, a observação desses fenômenos espaciais incluindo a biodiversidade, pode contribuir para o território a ser gerido sob os princípios de conservação, a fim de promover a sobrevivência das espécies e aumentar a resiliência dos ecossistemas que habitam.

A complexidade dos sistemas biológicos é reconhecida há muito tempo pelos cientistas. Durante décadas, ao longo dos séculos 19 e 20, os científicos passaram a compreender cada vez melhor essa complexidade, descrevendo os padrões que originam a diversidade biológica desde os níveis mais básicos até as associações em escalas amplas que permitem reconhecer ecossistemas e biomas. Além disso, passou-se a compreender melhor que essa complexidade está estruturada geograficamente de diferentes formas e, o mais importante, que ela evolui ao longo de grandes escalas de tempo. A evolução da própria espécie humana passou a ser, por si só, um fator extremamente relevante em função do grande impacto do *Homo sapiens* sobre as demais espécies do planeta. Esses impactos têm crescido enormemente devido à uma utilização cada vez maior dos recursos naturais, causando uma perda cada vez mais acentuada da diversidade biológica em diferentes níveis. Assim, devido à sua inerente complexidade e à dificuldade em se estabelecer pontos de equilíbrio entre desenvolvimento humano e conservação, está claro que conservar a biodiversidade

é uma das tarefas mais árduas e um dos maiores desafios do século 21 (Conservação internacional Brasil, 2009).

A chegada do homem no continente sul-americano modificou completamente a velocidade dos processos de alteração da biodiversidade, passando da escala de milhares de anos para a escala secular e, quinhentos anos depois do descobrimento, estamos vivenciando uma nova mudança de escala. Mudanças significativas na distribuição de espécies são agora observadas em décadas, e há uma crescente discrepância entre a velocidade das mudanças climáticas e a do processo evolutivo. Espécies longevas – de árvores como o jatobá e o jequitibá, que podem viver mais de duzentos anos – não têm condições de responder evolutivamente as essas mudanças ou migrar para novas áreas, tendendo a desaparecer. O resultado é um aumento exponencial nas taxas de extinção de espécies (Joly, 2007). Em 2005, Lewinsohn e Prado estimaram que o Brasil abrigava entre 170 mil e 210 mil espécies biológicas conhecidas, o que correspondia a cerca de 10% da biota mundial já estudada. Os mesmos autores projetaram que o número total de espécies biológicas brasileiras seja da ordem de 1,8 milhão de espécies. Esses números dão uma ideia do gigantesco desafio para os pesquisadores brasileiros que atuam nessa grande área que a caracterização, conservação, restauração e uso sustentável da biodiversidade abrange (citados por: Joly, et al., 2011).

De acordo com o exposto, foi feita a avaliação do impacto da mudança climática sobre a distribuição de duas espécies na bacia do rio Negro, especificamente nas áreas de reserva do município de Novo Airão, a partir de cenários climáticos gerados por camadas de informação climática (Worldclim) e um cenário de mudança climática desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), chamadas Sendas Representante da Concentração RCP 8,5. O mapeamento foi realizado para espécies de importância econômica e ambiental de ecossistemas de floresta tropical muito úmida e úmida no Amazonas: *Gymnotus Carapo* (Sarapó) e *Cichla sp. Monoculus, Ocellaris e Temensis* (Tucunaré); comparando a sua distribuição potencial atual com o esperado, de acordo com as variações climáticas nos cenários 2050 e 2070; este objetivo é alcançado através da aplicação do MAXENT, programa que modela a distribuição geográfica das espécies, utilizando apenas dados locais de presença e variáveis bioclimáticas associadas a cada um desses pontos de presença, para as distribuições modelo baseiam-se no princípio da máxima entropia e nicho ecológico (Steven et al., 2011, 2006). A Figura 1 representa a metodologia descrita.

Importância da Mudança Climática e a biodiversidade na Gestão Territorial

No sentido mais amplo, gestão implica da articulação, a administração, da planificação e a ação para efetuar à bem certo processo. Previamente tem chamando-se gestão climática ao conjunto de ações e acordos em função de conhecer, planificar e executar as medidas de mitigação e adaptação à mudança e a variabilidade climática. Mas, dado que o clima faz uma parte de um espaço que é habitado e significado pelo ser humano, é importante vincular também a este documento o conceito da gestão territorial, o qual pode ser intérprete de várias maneiras. No entanto, em geral, a União Internacional para a Conservação da Natureza¹ (UICN, 2011) afirma que, quando

¹ <http://bit.ly/1M3WGzo>

uma gestão ordenada é realizada, de planejamento, sustentável e eficiente do espaço habitado por seres humanos, é gerir o território.

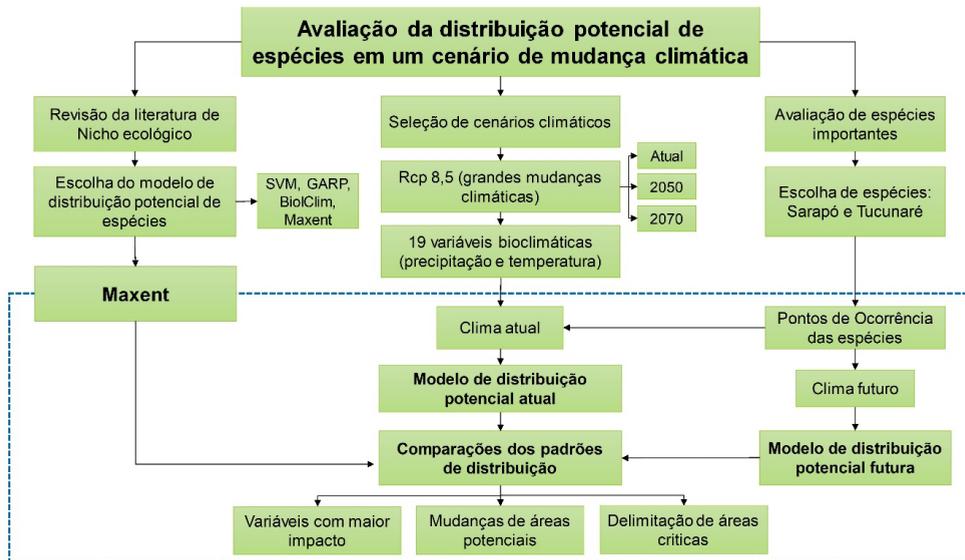


Figura 1. Diagrama metodológico

Em seguida, os elementos da coordenação das políticas públicas e seus instrumentos para garantir o bem-estar humano e conservação da biodiversidade, com tudo o que isso implica, é fundamental. Neste sentido, as alterações climáticas é um aspecto a ser integrados em tal gestão, porque saber a variação gradual na precipitação e temperatura, juntamente com as ameaças que este cria e, por sua vez, a vulnerabilidade resultante, deve ser o ponto de partida para orientar o desenvolvimento econômico, ambiental, social e cultural.

Esta reflexão não está fora da abordagem territorial para a mudança climática proposto pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD), o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUMA), Organização das Nações Unidas (ONU) Instituto das Nações Unidas para Treinamento e Pesquisa (UNITAR acrônimo). O principal objetivo é aumentar a mitigação e adaptação às mudanças climáticas nos territórios regionais “em países e economias de transição” (PNUD, 011, citado por IDEAM et al., 2014), concentrando-se diretamente sobre instrumentos de planejamento do desenvolvimento e ordenamento territorial, que têm a capacidade de priorizar as ações e definir o uso da terra. Assim, informações sobre o clima iria ajudar a reduzir a vulnerabilidade aos efeitos adversos da mudança climática, reduzir as desigualdades sociais e preservar a vida.

Em um país como o Brasil de proporções continentais: seus 8,5 milhões km² ocupam quase a metade da América do Sul e abarcam várias zonas climáticas – como o trópico úmido no Norte, o semiárido no Nordeste e áreas temperadas no Sul. Evidentemente, estas diferenças climáticas levam a grandes variações ecológicas, formando zonas

biogeográficas distintas ou biomas: a Floresta Amazônica, maior floresta tropical úmida do mundo; o Pantanal, maior planície inundável; o Cerrado de savanas e bosques; a Caatinga de florestas semiáridas; os campos dos Pampas; e a floresta tropical pluvial da Mata Atlântica. Além disso, o Brasil possui uma costa marinha de 3,5 milhões km², que inclui ecossistemas como recifes de corais, dunas, manguezais, lagoas, estuários e pântanos. A variedade de biomas reflete a enorme riqueza da flora e da fauna brasileira: o Brasil abriga a maior biodiversidade do planeta. Esta abundante variedade de vida – que se traduz em mais de 20% do número total de espécies da Terra – eleva o Brasil ao posto de principal nação entre os 17 países megadiversos (Ministério do Meio Ambiente do Brasil, s.f.).

Entretanto, devido à interferência humana, especialmente a destruição de habitats (Bruner et al., 2001), as taxas atuais de extinção de espécies estão pelo menos três ordens de grandeza maiores do que as taxas naturais ao longo do registro fóssil (Pimm et al., 1995). Desta forma, é consenso que há que se estabelecer prioridades para direcionar os limitados recursos humanos, financeiros e de informação disponíveis para a conservação da biodiversidade (Margules & Pressey, 2000; Langhammer et al., 2007).

Por esta razão, a indicação de áreas importantes para a conservação da biodiversidade pode advir tanto do simples mapeamento dos pontos de ocorrência dos alvos selecionados (Wege & Long, 1995; Brooks et al., 2001) quanto da utilização dos princípios do planejamento sistemático para conservação. As estratégias comumente adotadas para a seleção de prioridades utilizam espécies como objetos básicos de conservação (Eken *et al.*, 2004), aplicando técnicas de planejamento sistemático da conservação, e recorrendo também a mapeamentos de ecossistemas (Noss *et al.*, 1996) ou processos ecológicos (Rouget *et al.*, 2003), como forma de melhor representar diferentes escalas e níveis de organização da biodiversidade (Nogueira et al., 2009). Os resultados principais esperados de tais iniciativas são a definição de sítios para a criação de áreas protegidas ou apoio econômico, humano y científico das áreas já estabelecidas. Sem o vínculo constante entre conservação e ciência básica de documentação de diversidade não há como definir áreas críticas com significado biogeográfico, que favoreçam a manutenção de padrões e processos evolutivos, e em consequência a gestão sustentável dos territórios.

Condições do clima atual e futuro

As variáveis temperatura e precipitação são utilizadas geralmente para determinar as condições climáticas gerais de um território, com mudanças contínuas no transcurso do tempo (IPCC, 2014), é necessário conhecer o comportamento destas para promover os ajustes ou as medidas de mitigação e adaptação no município de Novo Airão, a fim de prever catástrofes climáticas, diminuir as afetações ao desenvolvimento social e econômico, bem como os processos biológicos e ecológicos dos sectores naturais. Para identificar quais serão as mudanças projetadas, utilizou-se a informação de WorldClim², a qual apresenta uma resolução detalhada (1 Km²). A cena escolhida para

² WorldClim é um conjunto de camadas climáticas globais (grelhas climáticas) com uma resolução espacial aproximadamente de 1km². Os dados podem ser utilizados para mapeamento e modelagem espacial num SIG ou com outros programas de computador. <http://www.worldclim.org>

a análise corresponde ao de percepção catastrófica (RPC 8.5). O modelo escolhido foi o HadGEM2 (Hadley Global Circulation Model), é a fase dois a partir de HadGEM1, o qual tem ajustes no modelo físico e da adição das componentes do sistema Terra (Figura 2). A versão -ES tem uma distribuição dinâmica da vegetação, é o único modelo que tem uma representação aproximada da realidade em relação com a climatologia dos trópicos e inter-trópicos (Collins et al., 2008).

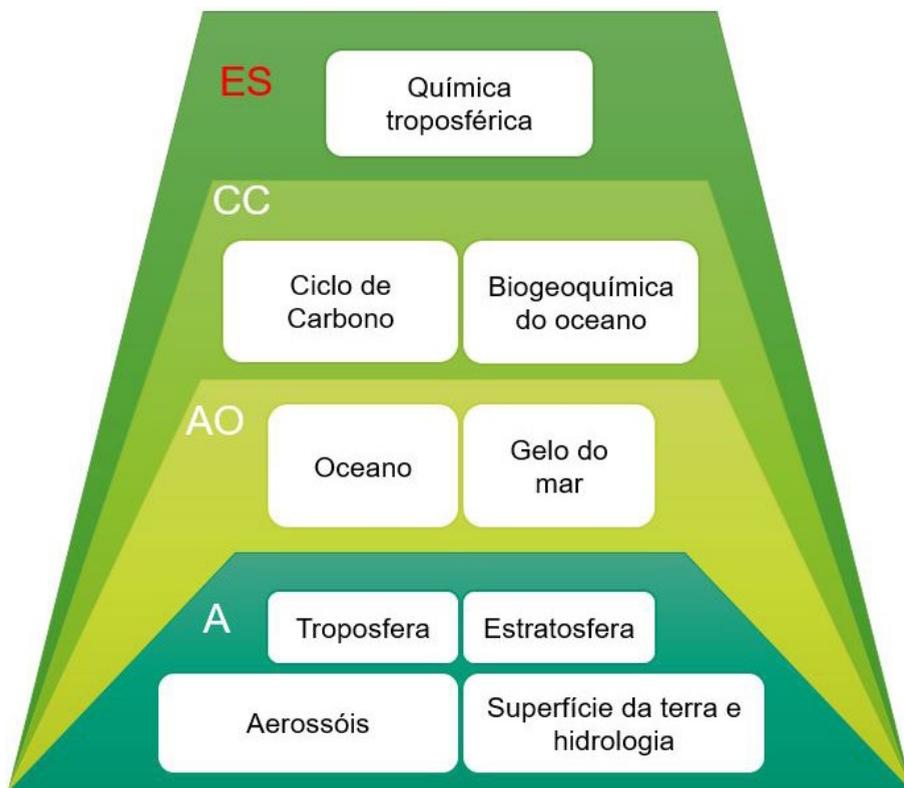


Figura 2. Conteúdo do Modelo HadGEM2 (Collins et.al, 2008)

Precipitação atual e mudanças futuras

A precipitação média anual acumulada na área de estudo foi calculada para o período de 1950-2000. Ao ocidente do município apresentam-se precipitações máximas de 2.785 e, ao nordeste valores mínimos de 2.078 mm, a média da precipitação total anual foi de 2.489 mm (Figura 3). As mudanças futuras mostram uma diminuição na média de precipitação anual, para 2050 espera-se reduções entre 1% e 10% no Nordeste e aumentos entre 5% e 10% na região ocidental. Em 2070 é esperada uma redução de 10% a 15% das precipitações no Norte e Sul de Novo Airão, com probabilidades de 5% a 10% de crescimento das chuvas no ocidente (Parque Nacional do Jaú). A diminuição de chuva afeta o Parque Nacional Anavilhanas, a área urbana do município e a Reserva Extrativista do Rio Unini.

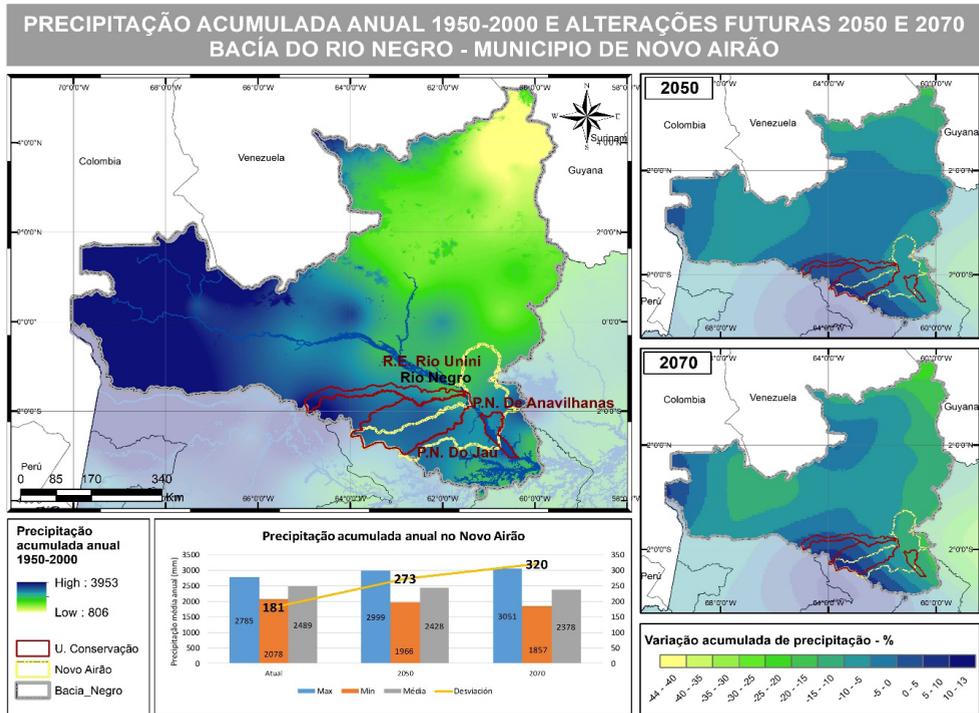


Figura 3. Precipitação acumulada anual 1950-2000 e alterações futuras 2050 e 2070³

Temperatura atual y mudanças futuras

Segundo os resultados do cenário de referência o leste do município apresentou as temperaturas mais elevadas no período 1950-2000, que podem atingir 27,4 °C, e começa a tem uma diminuição em direção ao centro e oeste, as quais podem chegar a 24,6 °C no Parque do Jaú e a Reserva Extrativista do rio Unini (Figura 4). As alterações na temperatura média para o período 2050 (2041-2060), varia entre 3,1 e 3,5 °C; a imagem não é mais encorajadores no período de 2070 (2061-2080), a temperatura pode subir até 5,3 °C, relativamente ao valor de referência (média anual de 26,9 °C).

³ Fonte de dados. Condições Atuais: Interpolações de dados observados, representativas de 1950-2000. Condições futuras: modelo climático downscaled global (GCM) dados de CMIP5 (IPCC Fifth Assessment). Dados em 30 segundos GCM: HadGEM2-ES rcp 8,5). Disponível em: <http://www.worldclim.org/>

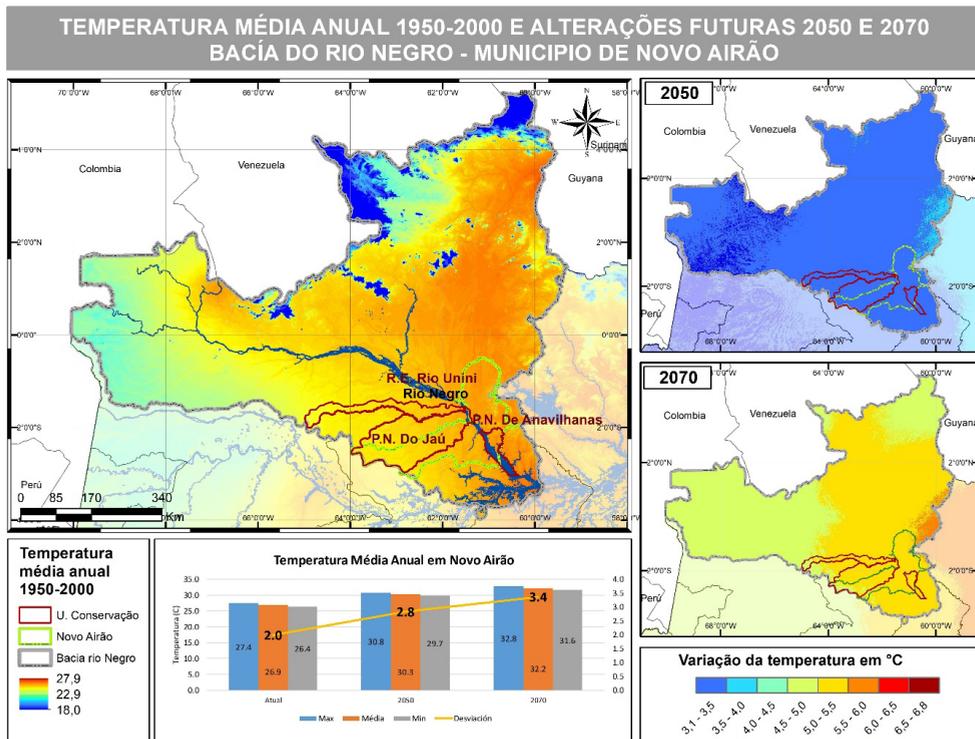


Figura 4. Temperatura média anual 1950-2000 e alterações futuras 2050 e 2070⁴

Possíveis impactos das variações climáticas na distribuição geográfica de espécies

WWF (2016), indica que diversos fatores relacionados com variáveis climáticas são essenciais para o desenvolvimento da vida e funcionamento das dinâmicas dos ecossistemas; Algumas delas são: umidade, níveis de carbono na biomassa vegetal, liteira e outros componentes do solo, temperatura do solo, liteira e água em sistemas lóticos e lênticos, precipitação e os tempos em que é apresentada, e a dinâmica de neblina e radiação solar, etc. Devido à influência da alteração do clima e da variabilidade, os fatores acima mencionados podem ser alterados, afetando espécies e processos dentro dos ecossistemas; alguns deles são mencionados abaixo: mudanças na distribuição e no comportamento das populações, mudanças nos processos fenológicos das espécies de plantas, estresse fisiológico pelas mudanças na temperatura, e propagação de espécies invasoras e a dominância de espécies generalistas com especialistas. Em geral, as mudanças nas condições climáticas podem também causar alterações na classificação climática dos ecossistemas, mesmo causando novos arranjos ecossistêmicos, entre outros efeitos possíveis.

⁴ Fonte de dados. Condições Atuais: Interpolações de dados observados, representativas de 1950-2000. Condições futuras: modelo climático downscaled global (GCM) dados de CMIP5 (IPCC Fifth Assessment). Dados em 30 segundos GCM: HadGEM2-ES rcp 8,5. Disponível em: <http://www.worldclim.org/>

Tendo em conta o que precede, os ecossistemas e as espécies da Amazônia são expostos à numerosas ameaças em relação com variações climáticas; entre estas, mudanças sazonais e a longo prazo da precipitação, o aumento dos períodos da seca, ondas de calor, mudanças na velocidade e distribuição dos ventos, mudanças radicais na temperatura, aumento da radiação solar e a incidência de raios UV, aumento da temperatura média, mudança na frequência e intensidade de fenômenos de variabilidade climática, inundações, mudança na temperatura de sistemas lóticos e léticos, mudanças de temperatura nas folhas mortas e sub-bosque, aumento da susceptibilidade à incêndios florestais, mudanças no escoamento, no regulamento hídrico e níveis freáticos, mudanças na aridez e erosão do solo, diminuição e escassez de fluxos hídricos, entre outros não conhecidos.

Distribuição potencial de duas espécies em cenário RCP 8.5 de mudança climática

Foram previstas áreas dentro da região as quais satisfazem os requisitos de nicho ecológico⁵ das espécies, para identificar a distribuição potencial das espécies (Anderson & Martínez-Meyer, 2004). Os modelos de distribuição potencial⁶ indicam quando as condições são adequadas para a sobrevivência da espécie e é, portanto, de grande importância para a conservação (Phillips, et al., 2006). As espécies são as unidades centrais da evolução e representam entidades evolutivas únicas, derivadas de processos biogeográficos singulares e relações entre populações e recursos ecológicos em escalas temporais amplas (Mace, 2004; Wiens, 2004). Portanto, dados de espécie, tomadas como entidades evolutivas únicas definidas espacialmente (Hey *et al.*, 2003), são fundamentais às estratégias de seleção de áreas críticas (Brooks *et al.*, 2004).

Para esta análise foram relacionados dados de presença da espécie prioritária com variáveis climáticas atuais e futuras, o que permitiu conhecer as mudanças em padrões de distribuição espacial. Foram 19 variáveis bioclimáticas⁷ correlacionadas, alguns deles são: temperatura média anual, temperatura interanual, precipitação anual e interanual, entre outros. A ferramenta tecnológica utilizada para gerar modelos cartográficos foi Maxent⁸ “funciona com base no método de entropia máxima para gerar distribuições

⁵ Na maior parte das aplicações de modelos de distribuição potencial (MDP) se considera que o nicho ecológico é o modelo básico que sustenta a possibilidade de produzir predições sobre a ocorrência de espécies (Peterson, 2001; Thuiller *et al.*, 2005; Elith *et al.*, 2006; Stockwell, 2006). O argumento é simples e bem fundamentado: o nicho ecológico é definido como o conjunto de condições e recursos nos quais os indivíduos de uma espécie são capazes de sobreviver, crescer e reproduzir. Logo, o conhecimento dessas condições e recursos deve servir para prever os locais de ocorrência da espécie (citados por: De Marco & Ferreira, 2009).

⁶ Os MDP são ferramentas importantes para determinar a distribuição de espécies ameaçadas com fins conservacionistas e para avaliar abordagens teóricas sobre processos biogeográficos. Esses modelos estão baseados na distribuição dos pontos de ocorrência da espécie no subespaço de condições de seu nicho ecológico e produzem funções para prever em que locais no espaço geográfico é provável sua ocorrência (De Marco & Ferreira, 2009).

⁷ As variáveis bioclimáticas são derivadas a partir dos valores mensais de temperatura e precipitação, a fim de gerar mais variáveis biologicamente significativas. Estes são frequentemente utilizados na modelagem de nicho ecológico (por exemplo, BIOCLIM, GARP). Elas representam tendências anuais (por exemplo, temperatura média anual, precipitação anual) sazonalidade (por exemplo, variações anuais de temperatura e precipitação) e fatores ambientais extremos ou limitantes (por exemplo, temperatura do mês mais frio e mais quente, e precipitação de chuva e trimestres secos). Para mais informação: <http://worldclim.org/bioclim>

⁸ Phillips *et al.* (2006) lista onze vantagens dessa técnica e as mais importantes são: i) ela necessita apenas

de probabilidade sistemática e objetiva. Estima a probabilidade de ocorrência de uma espécie a mais uniformemente possível” (Phillips et al., 2006). O âmbito geográfico da análise foi estendido para a Bacia do Amazonas, dada a ampla gama de distribuição espacial das espécies. Os dados de presença correspondem à georeferenciação oferecida por a base de dados GBIF (Global Biodiversity Information Facility⁹).

Cichla spp. Ou Tucunaré (Teleostei, Actinopterygii, Cichlidae): originário da bacia amazônica, o tucunaré é uma espécie de hábito alimentar carnívoro piscívoro e tem demonstrado considerável eficiência no controle de peixes invasores em represas (Sampaio et al., 2000) além, de ser usado para peixamento em barragens e açudes pelo conteúdo nutricional significativo (Tabela 1), e apresentar qualidades apreciadas pela pesca esportiva (Silva et al., 1980). Os ciclídeos constituem uma família rica em espécies, que se distribuem por ambientes de águas doces principalmente nas Américas Central e do Sul (Nelson, 1994). O número total de espécies de ciclídeos pode ultrapassar 2000, onde a Amazônia concentra a maior riqueza (Kullander 1998).

Tabela 1 Valores nutricionais dos peixes

Peixe	Proteína (g)	Lipídeos (g)	Kcal
Tambaqui (filé)	24,80	5,8	151,4
Jaraqui (filé)	20,30	5,4	129
Pirarucu (filé)	20,50	4,3	120,7
Tucunaré (filé)	20,4	2,3	102,3

Fonte: Santos, 2015.

Neste caso foram utilizados 242 registros de ocorrência de *Cichla Spp.* dentro da Bacia do rio Amazonas. Os resultados dos modelos são apresentados na Figura 5. Mostram-se padrões de concentração da espécie no norte da bacia do rio Negro e em torno do eixo hídrico que atravessa o P.N. de Anavilhanas até o ponto de fechamento da bacia, as projeções indicam que mais de 60% da bacia apresenta valores menores do 15% de probabilidade de ocorrência da espécie. Em Novo Airão a probabilidade de ocorrência no cenário atual apresenta valores superiores a 80%, porém, concentrada no P.N. de Anavilhanas; para os cenários 2050 e 2070 se esperam decréscimos de 20% e 10%, respectivamente. Os resultados de MaxEnt indica que o modelo tem boa capacidade para prever a probabilidade de ocorrência da espécie, (os valores de validação cruzada ou AUC são superiores a 0,9510).

de dados de presença; ii) a variável gerada é continua dentro do intervalo 0 a 100 indicando adequabilidade relativa; iii) ela tem uma definição matemática concisa e é facilmente interpretável dentro dos conceitos clássicos de análise de probabilidades.

⁹ GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2015. Encontradas em: 20 junho 2016 em <http://www.gbif.org/>

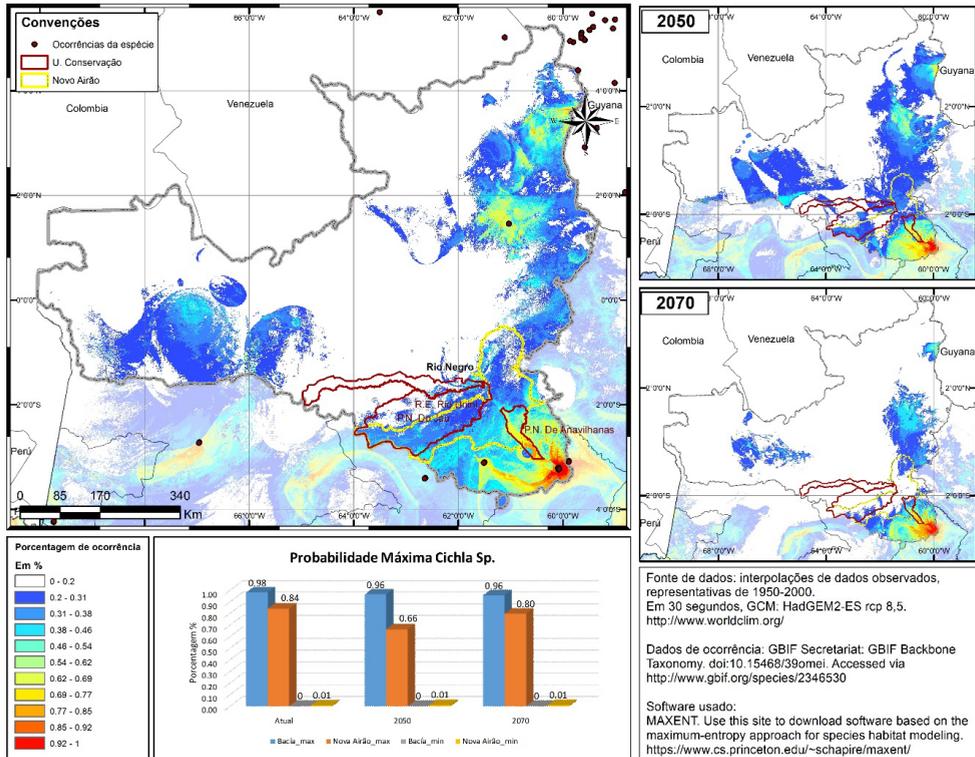


Figura 5. Distribuição potencial do Cichla ou Tucunaré

As variáveis ambientais que mais contribuem para explicar a distribuição geográfica das espécies são: média de intervalo de temperatura mensal, a temperatura média anual e a temperatura média do trimestre mais úmido; além, da temperatura mínima do mês mais frio. Em contraste, a variável com a menor contribuição para o modelo foi a precipitação do mês mais úmido. Segundo Nascimento et al. (2001) as águas turvas funcionaram como uma barreira de dispersão do tucunaré, dificultando ou impedindo a captura de presas por este peixe, que é um predador visualmente orientado. Assim, essas características devem ser fatores preferenciais influenciadores da sua concentração ou dispersão na bacia do rio Negro; os eventos extremos (secas e cheias) junto com as mudanças climáticas podem explicar os resultados da distribuição geográfica futura da espécie, por tanto, é importante fazer progressos em estudos relacionados ao impacto do clima na turbidez da água e no comportamento espacial das espécies do gênero Cichla sp.

Gymnotus Carapo Ou Tuvira/Sarapó: é um peixe nativo do Sul América, tem a capacidade de gerar descargas elétricas, o que compõe um eficiente sistema de eletro localização de objetos, presas e de outros indivíduos (da mesma ou de outras espécies). Esse sistema de eletrogênese e eletro recepção permite ao peixe se movimentar e se comunicar em condições de escuridão completa, o que os habilita a

ocupar locais profundos e permanentemente escuros da calha dos grandes rios, onde são dominantes. Além, apresentam a capacidade de obter oxigênio do ar, que é tomado em “bocadas” na superfície da água. São peixes carnívoros-piscívoros que caçam suas presas principalmente à noite (Zuanon et al., 2015). O oxigênio de água doce dos ambientes tropicais flutua drasticamente; lagos e lagoas eutróficos de ambientes temperados frequentemente atingem baixas concentrações de oxigênio. Este é o habitat mais comum da *Gymnotus Carapo* (Moraes, et al., 2002).

Vários estudos relacionam a *G. Carapo* com um grande número de características ambientais, considerando-a como tolerante (Alexandre et al., 2010; Casatti et al., 2004, 2009), associadas com grandes variações nas condições ambientais tais como baixo pH, baixa vegetação ciliar, menores larguras de rios, com grande quantidade de vegetação aquática e menores taxas de oxigênio (De Resende, 2006; Abes & Agostinho, 2001). No trabalho de Castro (2012), essa espécie se associou a locais com índice de impacto humano e proporção de substrato fino altos, baixa vegetação lenhosa e também com baixa condutividade. Além, foram encontrados perto de bancos marginais de vegetação, riachos rasos assoreados (Ferreira & Casatti, 2006), e características de micro-habitat com fontes de poluição pontuais, barragens e presença de gramíneas (Valim et al., 2010).

Para a modelagem em MaxEnt foram utilizados 97 registros de ocorrência de *Gymnotus Carapo* dentro da Bacia do rio Amazonas. Os resultados espaciais se apresentam na Figura 6, para o período atual se observa uma grande dispersão da espécie de sul para o norte, atingindo valores de ocorrência num intervalo de 45% a 70%; além de um núcleo de concentração a oeste com valores de 30% a 60% de ocorrência; porém, para o cenário 2050, prevê-se uma diminuição da distribuição geográfica da espécie, com valores menores a 25% na maior parte da bacia, e só uma probabilidade de ocorrência da espécie maior a 54% no Parque Nacional de Anavilhanas (16% menos do que os valores do período de referência), o que tornaria a unidade de conservação em uma área de especial interesse para a proteção desta espécie, uma vez que parte de seu ciclo de vida depende da existência de águas lóxicas, possivelmente relacionada à reprodução.

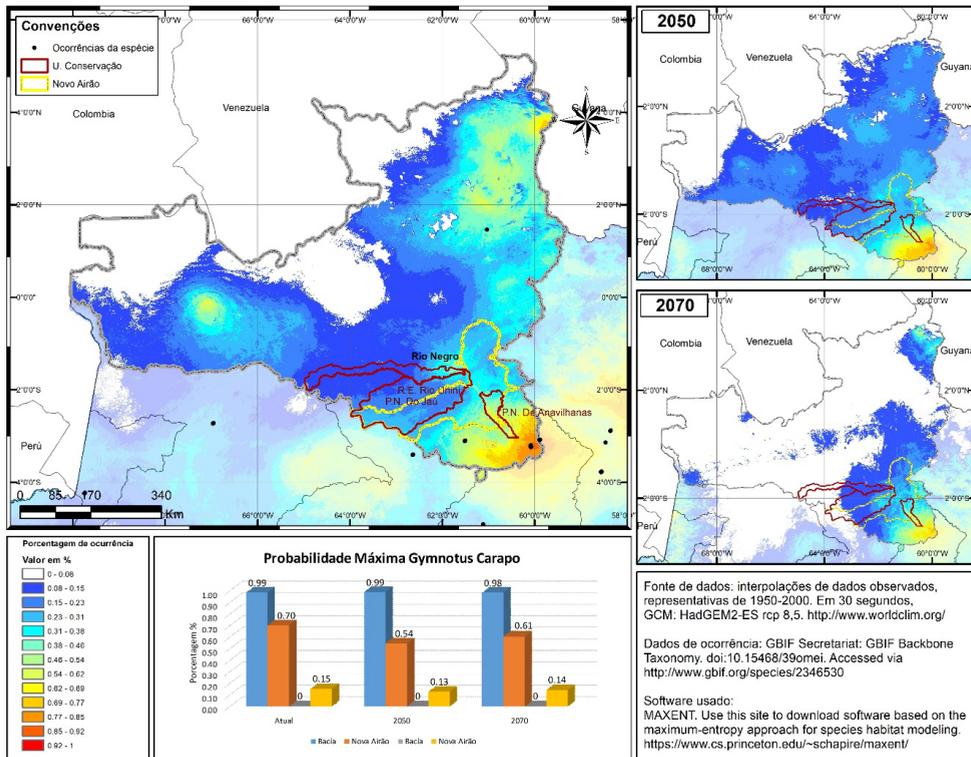


Figura 6. Distribuição potencial do *Gymnotus Carapo* ou *Sarapó*

Além disso, estudos realizados indicam que a bacia do Rio Negro é uma área de criadouro de tuviras, pois predominam formas de sexo indeterminado e imaturo. Tal fato deveria ser esperado, pois na época das cheias, quando ocorre o extravasamento do rio Negro, formam-se extensas áreas rasas e inundadas que alimentam habitats propícios às tuviras (Kawami et al. 2006). Para o cenário 2070, a imagem não é muito diferente, as probabilidades de ocorrência da espécie continuam enfraquecendo, com valores menores a 15% na maior parte da bacia, não obstante, podem acontecer acréscimos de ocorrência até 7% na região de Novo Airão em relação a 2050, confirmando a importância geoestratégica da localização das unidades de conservação nesta área e investir nelas.

O MaxEnt indica a capacidade boa de modelo para prever a probabilidade de ocorrência da espécie (valores de AUC superiores a 0,83). As variáveis da temperatura têm os maiores valores de contribuição para explicar a dinâmica espacial da espécie, principalmente a temperatura média anual, a temperatura média do trimestre mais seco e mais quente, além da precipitação do trimestre mais quente, esta relação pode explicar a dependência da espécie a dinâmica das chuvas, sendo que, o Sarapó realiza migrações laterais, entre a planície de inundação e o canal do rio para completar o seu ciclo de vida. A planície de inundação é o habitat onde alimento e abrigo são

encontrados em abundância. Mas este mesmo ambiente vai se retraindo com o avanço da seca e, ao final, restam corpos d'água de pequena dimensão, onde os peixes ficam aglomerados e em muitos casos, provocam a mortandade dos animais aquáticos ali existentes. Na próxima fase da enchente, os que sobreviveram à seca retornam ao leito dos rios, onde realizam a reprodução, como foi observado para muitas espécies por De Resende (2006).

Conclusão

De acordo com a modelagem realizada com MaxEnt e a informação climática de HadGEM2-ES, RCP 8.5 e de ocorrência das espécies em GBIF, possivelmente o tucunaré e sarapó poderiam diminuir suas áreas de distribuição geográfica, que pode ser um reflexo de um dos efeitos que as alterações climáticas teriam sobre estas espécies. Dado que tais mudanças são esperadas e muitos outros ainda não simuladas ou estudadas para espécies do município de Novo Airão, a principal recomendação visa aumentar a resiliência dos ecossistemas existentes, bem como aumentar e reforçar as estratégias para promover a conectividade na paisagem municipal e seus arredores, o que poderia facilitar processos de adaptação de espécies e conexão dos ecossistemas às novas condições climáticas esperadas.

As reduções de chuva incluem o Parque Nacional Anavilhanas, a área urbana do município e uma parte do Parque Nacional do Jaú e a Reserva Extrativista do Rio Unini. Desta maneira, requer-se uma atenção cuidadosa no modelo de ocupação territorial, fazendo um acompanhamento periódico deste, que permite conhecer as relações sociais como ambiente urbano construído, demonstrando as mudanças na paisagem e as variáveis críticas que podem desencadear catástrofes; com o povoamento cuidadoso do sector urbano pode-se controlar o crescimento urbano para não ultrapassar os limites e a capacidade do território como plataforma certa para habitabilidade, que diminui a tensão ambiental entre as características biofísicas da zona, com o desenvolvimento da atividade humana, e uma redução da degradação dos recursos naturais.

Os resultados mostram que as espécies Tucunaré e Sarapó compartilham condições ecossistêmicas semelhantes, principalmente no sul da bacia sobre o ecossistema de Florestas Úmidas Japurá-Solimões-Negro e no nordeste sobre a Savana da Guiana e as Florestas Úmidas Uatumã-Trombetas, características de Pastagens tropicais e subtropicais e Florestas lenhosas tropicais e subtropicais úmidas respetivamente. O que ratifica a importância de manter e gerenciar áreas protegidas sobre o Território da bacia com suas diferentes medidas de conservação; nesse sentido, o Parque Nacional Anavilhanas se torna um dos principais elementos do ordenamento territorial da Bacia do Rio Negro, na medida em que é a região onde os modelos indicaram as maiores concentrações das duas espécies. Os próximos instrumentos de planejamento ambiental terão o desafio de preservar o arquipélago fluvial de Anavilhanas bem como suas diversas formações florestais, além de estimular a produção de conhecimento por meio da pesquisa científica e valorizar a conservação do bioma Amazônia com base em ações de educação ambiental e turismo sustentável. O foco deve harmonizar as relações entre as comunidades do entorno e a Unidade com ações de bases sustentáveis.

Agradecimentos

Homenagem póstuma a meu amigo Javier Oswaldo Triana Duarte (1986-2016), agrônomo da Universidade Nacional da Colômbia e excelente colega de trabalho no Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Você deixou um sentimento estranho de não saber como dizer adeus.

Ao programa de pós-graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA e Universidade do Estado do Amazonas-UEA (Brasil). Ao Departamento de Geografia da Faculdade de Humanidades da Universidade do Valle (Cali-Colômbia).

Referencias

- Abes, S. & Agostinho, A. (2001). Spatial patterns in fish distributions and structure of the ichthyocenosis in the Agua Nanci stream, upper Paraná River basin, Brazil. Em: *Hydrobiologia, The Hague*, v. 445, (n. 1/3), 217-227
- Alexandre, C., Esteves, K. & Mello, M. (2010). Analysis of fish communities along a rural-urban gradient in a neotropical stream, Piracicaba River Basin, São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia, The Hague*, v. 641, (n. 1), 97-114
- Anderson, R. P., & Martínez-Meyer, E. (2004). *Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. Biological Conservation*, 116, 167-179 pp.
- Brooks, T., G.A.B. Fonseca & A.S.L. Rodrigues. (2004). *Species, data, and conservation planning. Conservation Biology* 18: 1682-1688.
- Brooks, T., A. Balmford, N. Burgess, L.A. Hansen, J. Moore, C. Rahbek, P. Williams, L. A. Bennun, A. Byaruhanga, P. Kasoma, P. Njoroge, D. Pomeroy & M. Wondafrash. (2001). *Conservation priorities for birds and biodiversity: do East African Important Bird Areas represent species diversity in other terrestrial vertebrate groups? Ostrich* 15: 3-12.
- Bruner, A.G., R.E. Gullison, R.E. Rice & G.A.B. Fonseca. (2001). *Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. Science* 291: 125-128.
- Burton, I., Kates, R., & White, G. (1978). *The environment as hazard*. Nueva York: Oxford University Press, 240p.
- Capel, J. (1999). *El Niño y el sistema climático terrestre*. España: Ariel, S.A., 154p.
- Casatti, L. et al. (2004). Ichthyofauna of two streams (silted and reference) in the upper Paraná river basin, Southeastern Brazil. Em: *Brazilian Journal of Biology*, São Carlos, c. 64, (n. 4). 757-765.
- Casatti, L., Ferreira, C. & Langeani, F. (2009). A fish-based biotic integrity index for assessment of lowland streams in southeastern Brazil. Em: *Hydrobiologia, The Hague*, v. 623, (n. 1). 173-189.
- Castro, M. (2012). *Fatores estruturantes e possíveis espécies indicadoras da assembléia de peixes de riachos afluentes do reservatório de Três Marias, MG / Miriam Aparecida de Castro. - Lavras: UFLA, 111p: il.*
- CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2005). *Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Chile: CEPAL/Morales & Parada*, 273p.
- Collins et al. (2008). *Evaluation of the HadGEM2 model*. Hadley Centre technical note 74. Met Office Hadley Centre, Exter, UK. 47p.
- Conservação internacional Brasil. (2009). Os desafios científicos para a conservação da biodiversidade no Brasil. Em: *Megadiversidade* v5 (1-2). 3-4
- De Resende, E. (2006). *Biologia da tucuna, Gymnotus cf. carapo (Pesces, Gymnotidae) no Baixo Rio Negro, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Pantanal 67 p.

- Eken, G., L. Bennun, T.M. Brooks, W. Darwall, L.D.C. Fishpool, M. Foster, D. Knox, P. Langhammer, P. Matiku, E. Radford, P. Salaman, W. Sechrest, M.L. Smith, S. Spector & A. Tordoff. (2004). *Key biodiversity areas as site conservation targets*. *Bioscience* 54: 1110-1118.
- Felizola, J., Terribile, L., De Oliveira, G. & Rangel, T. (2009). Padrões de processos ecológicos e evolutivos em escala regional. Em: *Megadiversidade* 5 (1-2). 5-16.
- Ferreira, C. & Casatti, L. (2006). Influência da estrutura do habitat sobre a ictiofauna de um riacho em uma micro-bacia de pastagem, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23: 642-651.
- Hey, J., R.S. Waples, M.L. Arnold, R.K. Butlin & R.G. Harrison. (2003). Understanding and confronting species uncertainty in biology and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 597-603.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo); Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguvio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2014). *Enfoque territorial para el cambio climático. Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC)*. Bogotá, Colombia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2015). *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* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva: IPCC.
- _____. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, et al. (eds.)]. Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.
- _____. (2013). *CLIMATE CHANGE 2013. The Physical Science Basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Bern, Switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2012). *Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Informe de los Grupos de trabajo I y II del IPCC*.
- _____. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change*. Cambridge. US. Cambridge University Press. 1005 p.
- Joly, C. (2007). Biodiversidade e mudanças climáticas: contexto evolutivo, histórico e político. Em: *Ambiente & Sociedade*, v. X, (n. 1). 169-172.
- Joly, C., Haddad, C., Verdade, L., De Oliveira, M., Da Silva, V. & Berlinck, R. (2011). Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. Em: *REVISTA USP*, São Paulo, (n.89). 114-133.
- Kawami, E., Aparecida, R., Ferreira, V. & Marques, E. (2006). Biologia da tuvira, *Gymnotus* cf. *carapo* (Pisces, Gymnotidae) no Baixo Rio Negro, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Em: *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 67. 44.
- Kullander, S.O. (1998). A phylogeny and classification of the South American Cichlidae (Teleostei: Perciformes). In: L.R. Malabarba, R.E. Reis, R.P. Vari, Z.M.S. Lucena & C.A.S. Lucena (Eds.). *Phylogeny and classification of Neotropical fishes*. Porto Alegre: EDIPUCRS. 461-498.
- Langhammer, P.F., M.I. Bakarr, L.A. Bennun, T.M. Brooks, R.P. Clay, W. Darwall, N. De Silva, G.J. Edgar, G. Eken, L.D.C. Fishpool, G.A.B. Fonseca, M.N. Foster, D.H. Knox, P. Matiku, E.A. Radford, A.S.L. Rodrigues, P. Salaman, W. Sechrest & A.W. Tordoff. (2007). *Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems*, Gland.

- Mace, G. M. (2004). The role of taxonomy in species conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*. 359: 711-719.
- Margules, C.R. & R.L. Pressey. (2000). Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Ministério do Meio Ambiente do Brasil. (s.f.). *Biodiversidade Brasileira*. Encontradas em: 10 de junho de 2016 <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira#footer>
- Moraes, G., Avilez, I., Altran, A. & Barbosam C. (2002). Biochemical and hematological responses of the banded knife fish *Gymnotus Carapo* (linnaeus, 1758) exposed to Environmental hypoxia. Em: *Braz. J. Biol.*, 62(4A). 633-640.
- Nascimento, F. L.; Catella, A. C. & Moraes, A. E. (2001). *Distribuição espacial do tucunaré, Cichla sp. (Pisces, Cichlidae), peixe amazônico introduzido no Pantanal, Brasil*. Corumbá: Embrapa Pantanal. 17p. (Embrapa Pantanal, Boletim de Pesquisa, 24).
- Nelson, J. S. (1994). *Fishes of the world*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 600 p.
- Nogueira, C., Valdujo, P., Paese, A., Barroso, M. & Bomfim, R. (2009). Desafios para a identificação de áreas para conservação da biodiversidade. Em: *Megadiversidade* 5 (1-2). 41-53.
- Noss, R.F., H.B. Quigley, M.G. Hornocker, T. Merrill & P.C. Paquet. (1996). Conservation biology and carnivore conservation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology* 10: 949-963.
- Phillips, J., Anderson, R. & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Em: *Ecological Modelling*, Vol. 190, Issues 3-4. 231-259 pp.
- Pimm, S.L., G.J. Russell, J.L. Gittleman & T.M. Brooks. (1995). The future of biodiversity. *Science* 269: 347-350.
- Rouget, M., Richardson, D.M. Cowling, R.M., Lloyd, J.W. & Lombard, A.T. (2003). Current patterns of habitat transformation and future threats to biodiversity in terrestrial ecosystems of the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation* 112: 63-85.
- Sampaio, A. M. B. De M., Kubitzka, F. & Cyrino, J. E. P. (2000). Relação energia: proteína na nutrição de tucunaré. *Scientia Agricola*, v. 57, (n. 2), 213-219.
- Santos, I. (2015). *Conheça o valor nutricional de peixes populares na Amazônia*. Em: Portal Amazonia. Disponível em: <http://portalamazonia.com/noticias-detalle/saude/conheca-o-valor-nutricional-de-peixes-populares-na-amazonia/?cHash=b4258bfc703a40423780ed35b78cabed>
- Silva, J.W.B., Chacon, J.O. & Santos, E.P. dos. (1980). Curva de rendimento do Tucunaré pinima *Cichla temensis* (Humboldt, 1833), do açude público “Estevam Marinho” (Curemas, Paraíba, Brasil) (Pisces, actinopterygi Cichlidae). *Revista Brasileira de Biologia*, v.40, 203-206.
- Siqueira, T., Padiá, A. & Bini, L. (2009). Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a biodiversidade: um panorama sobre as atividades de pesquisa. Em: *Megadiversidade* 5 (1-2). 17-26
- Steven J., Phillips, R. & Anderson, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. In: *Ecological Modelling*, 190: 231-259
- Steven, J., Phillips, T., Miroslav D., Yung, C. & Colin J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. In: *Diversity and Distributions*, 17:43-57, 2011.
- Valim, C., Eichbaum, E. & Accaui, M. (2010). Analysis of fish communities along a rural-urban gradient in a neotropical stream (Piracicaba River Basin, São Paulo, Brazil). Em: *Hydrobiologia* 641. 97-114
- Wege, D.C. & A.J. Long. (1995). Key Areas for Threatened Birds in the Neotropics. BirdLife International, Cambridge.
- Wiens, J.J. (2004). What is speciation and how should we study it?. *American Naturalist* 163: 914-923.
- WWF - World Wide Fund for Nature (Formerly World Wildlife Fund). (2016). *Planeta Vivo, Relatório 2016*. Risco e resiliência em uma nova era. Brasil: WWF, ZSL Lets work for wildlife & Global Footprint Network. 19p.
- Zuanon, J., Mendonça, F.P., Espírito Santo, H. M. V., Dias, M. S., Vieira, A. & Akama, A. (2015). *Guia de peixes da Reserva Adolpho Ducke*. Manaus: Editora INPA, 155 p.: il. color.