

MORCEGOS NO NEOTRÓPICO: 15 ANOS DE INVESTIGAÇÃO SOBRE A SUA DIVERSIDADE E DIVERSIFICAÇÃO

MARIA JOÃO RAMOS PEREIRA¹

maria.joao@ufrgs.br

¹ Laboratório de Evolução, Sistemática e Ecologia de Aves e Mamíferos – BiMaLab, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil & Centro de Estudos do Ambiente e do Mar – CESAM, Campus Universitário de Santiago, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

CITAÇÃO RECOMENDADA Ramos Pereira MJ (2021). Morcegos no Neotrópico: 15 anos de investigação sobre a sua diversidade e diversificação. *Lucanus* – Revista de Ambiente e Sociedade, Volume V, Páginas 186-207.



FIGURA 1 *Chotopteris auritus*, morcego carnívoro que se alimenta principalmente nos estratos mais baixos da floresta. Autoria: Maria João Ramos Pereira.

1 MORCEGOS: O MODELO BIOLÓGICO PERFEITO?

Os anos de 2020 e 2021 não foram propriamente uma odisséia no espaço, mas uma odisséia pela pandemia de COVID-19. E, desde o início desta pandemia, temos sido bombardeados por um enorme volume de informações sobre morcegos (Chiroptera; Mammalia), boa parte das quais estabelecendo ligações diretas, e erradas, sobre os únicos mamíferos voadores e a COVID-19. Com efeito, até ao momento, não existe nenhum estudo que mostre uma conexão direta entre os morcegos e a pandemia que estamos a viver. O genoma de alguns coronavírus previamente descritos em morcegos-de-ferradura *Rhinolophus affinis*, na China, apresenta cerca de 96% de similaridade com o genoma do SARS-CoV-2 (Zhou *et al.* 2020); no entanto, é esta pequena percentagem de diferença que demonstra que o tempo de divergência entre o SARS-CoV-2, causador da doença em humanos, e o vírus filogeneticamente mais próximo encontrado em morcegos deve ser de 40 a 70 anos e, portanto, a existência de um ou múltiplos hospedeiros intermediários parece ter sido fundamental para que tal *spillover* tenha acontecido. Existe consenso entre cientistas de que o SARS-CoV-2 teve origem em animais selvagens (Fam *et al.* 2020), mas esta origem não foi ainda identificada na natureza. Por outro lado, trazer os morcegos para a ribalta é uma oportunidade para destacar os aspetos ecológicos e evolutivos que os tornam fascinantes, modelos biológicos ímpares e até nossos verdadeiros aliados na preservação de processos cruciais do planeta.

Os morcegos são os únicos mamíferos com capacidade de voo. Esta capacidade parece ter surgido cedo na história evolutiva do grupo (Speakman 2001; Simmons *et al.* 2008) e parece ter estado por detrás da sua extraordinária diversificação e distribuição por todo o planeta (Simmons 2005). O aumento na capacidade de dispersão proporcionado pelo voo expôs os morcegos a diferentes pressões seletivas: quando ocorre a chegada e a invasão de um novo ambiente por um determinado grupo de organismos, o que tende a acontecer é uma progressiva adaptação a esse ambiente pela população que se estabelece, adaptação possível através do surgimento daquilo que designamos por inovações-chave (Simpson 1953; von Hagen & Kadereit 2003; Losos 2010). Ora, em diferentes ambientes, os seres vivos estão sujeitos a diferentes pressões adaptativas e os morcegos, que surgiram possivelmente na massa de terra que hoje corresponde à América do Norte (Teeling *et al.* 2005), foram, através do voo, chegando a diferentes regiões do planeta e estabelecendo diferentes adaptações aos distintos ambientes aonde chegaram. Atualmente, encontramos morcegos em todos os continentes e em praticamente todos os ambientes, exceto nos polos e em algumas ilhas muito

remotas. Além disso, a sua diversidade é imensa, quer do ponto de vista taxonómico, com mais de 1400 espécies descritas até ao momento (<https://www.mammaldiversity.org/taxa.html>), quer do ponto de vista ecológico, já que nos morcegos encontramos todas as guildas tróficas conhecidas no conjunto dos restantes mamíferos terrestres (Simmons & Conway 2003).

É exatamente porque os morcegos são muito diversos e amplamente distribuídos que se tornam modelos únicos para responder a uma das principais perguntas da Biologia: Quão rica e quão variada é a vida na Terra? Desta pergunta derivam várias outras no âmbito da Ecologia Evolutiva e da Biologia da Conservação que têm orientado a minha investigação nos últimos 15 anos desenvolvida na região neotropical, especificamente no Brasil, um país megadiverso: i) Quais os mecanismos que conduziram à extraordinária diversidade de espécies que observamos hoje?; ii) Como é que as diferentes espécies estão distribuídas pelo mundo e pelos diferentes ambientes?; iii) Porque algumas espécies ocorrem nuns locais e não noutros?; iv) Quais espécies são comuns? Quais são raras? Quais são as espécies ameaçadas de extinção?; v) Como é que as ações humanas estão a impactar as populações de morcegos? Porque é que algumas espécies são mais resilientes do que outras?; e finalmente vi) Como é que as espécies interagem com os ecossistemas? O que resulta dessas interações com os ambientes e com outras espécies, incluindo connosco, humanos? Algumas destas perguntas parecem não estar relacionadas, mas isso é reflexo de uma perspetiva ultrapassada, segundo a qual os processos evolutivos não são relevantes na escala de tempo em que os processos ecológicos ocorrem. No presente, trabalhamos sob um paradigma muito distinto: os processos que conduzem à organização das espécies numa determinada área operam a diferentes escalas espaciais e temporais, ou seja, ecologia e evolução são inseparáveis, já que diversos mecanismos ecológicos, ao longo de amplas escalas temporais, se tornam mecanismos evolutivos influenciando, por exemplo, a diversificação de espécies, ou seja, as taxas de especiação e de extinção.



Trazer os morcegos para a ribalta é uma oportunidade para destacar os aspetos ecológicos e evolutivos que os tornam fascinantes, modelos biológicos ímpares e até nossos verdadeiros aliados na preservação de processos cruciais do planeta.”

2 NEOTRÓPICO: O JARDIM DO ÉDEN

No Neotrópico, em que há uma enorme diversidade de ambientes, foi possível, a partir de uma forma de morcego ancestral que se alimentava de insetos (Baker *et al.* 1989; Freeman 2000; Dumont *et al.* 2012), o surgimento de inovações-chave que permitiram a exploração dos diversos recursos disponíveis nessa heterogeneidade ambiental. O Neotrópico, que inclui toda a região tropical das Américas e toda a região temperada da América do Sul, abriga centenas de espécies de morcegos que ocorrem desde florestas húmidas a desertos, passando por savanas, campos, florestas secas e manguezais, que por sua vez apresentam dietas muito diversificadas incluindo insetivoria, frugivoria, nectarivoria, folivoria, carnivoria, piscivoria e sanguinivoria (Freeman 2000; Simmons & Conway 2003; Dumont *et al.* 2011; Monteiro & Nogueira 2011). Nos ecossistemas neotropicais, os morcegos representam uma parte significativa da diversidade de mamíferos; por exemplo, cerca de metade das espécies de mamíferos que encontramos nas florestas tropicais da América do Sul, como a Amazónia (Figura 2) e a Floresta Atlântica (Figura 3) são morcegos (Emmons 1990). Em determinadas regiões da Amazónia, podemos encontrar cerca de 100 espécies de morcegos num só local (Lim & Engstrom 2001; Ramos Pereira *et al.* 2009, Marques *et al.* 2016).

Mesmo na Amazónia, que sob o olhar dos mais incautos pode parecer uma gigantesca floresta homogénea, existe uma grande diversidade de ecossistemas. Por exemplo, as planícies da Amazónia Central, embora representem uma das regiões climaticamente menos sazonais do planeta, apresentam diferentes tipos de florestas, algumas sazonalmente inundadas por água rica em nutrientes (florestas de várzea), outras por água pobre em nutrientes (florestas de igapó), e outras que nunca sofrem inundação (florestas de terra firme). Aqui, a inundação resulta do efeito combinado da chuva e do degelo dos Andes. Essa inconstância causada pela inundação influencia as assembleias de morcegos, alterando por exemplo a disponibilidade de abrigo e alimento associada à vegetação do subcoberto; assim, as comunidades mais ricas em espécies de morcegos encontram-se nas florestas de terra firme, uma vez que o estrato vertical inferior é muito mais estruturado neste tipo de floresta do que nas florestas sazonalmente inundadas, onde se encontra submerso vários meses por ano (Ramos Pereira *et al.* 2009). Se apontarmos a nossa lupa para uma escala ainda menor, continuamos a desvendar outras oportunidades criadas pelo voo aos morcegos: o voo não só permitiu a exploração continental em grande escala, mas também uma especialização mais fina nos diferentes ambientes, ou seja, a exploração de novos nichos, o que potencia o tal surgimento de inovações-chave e, conseqüentemente, de novas espécies.

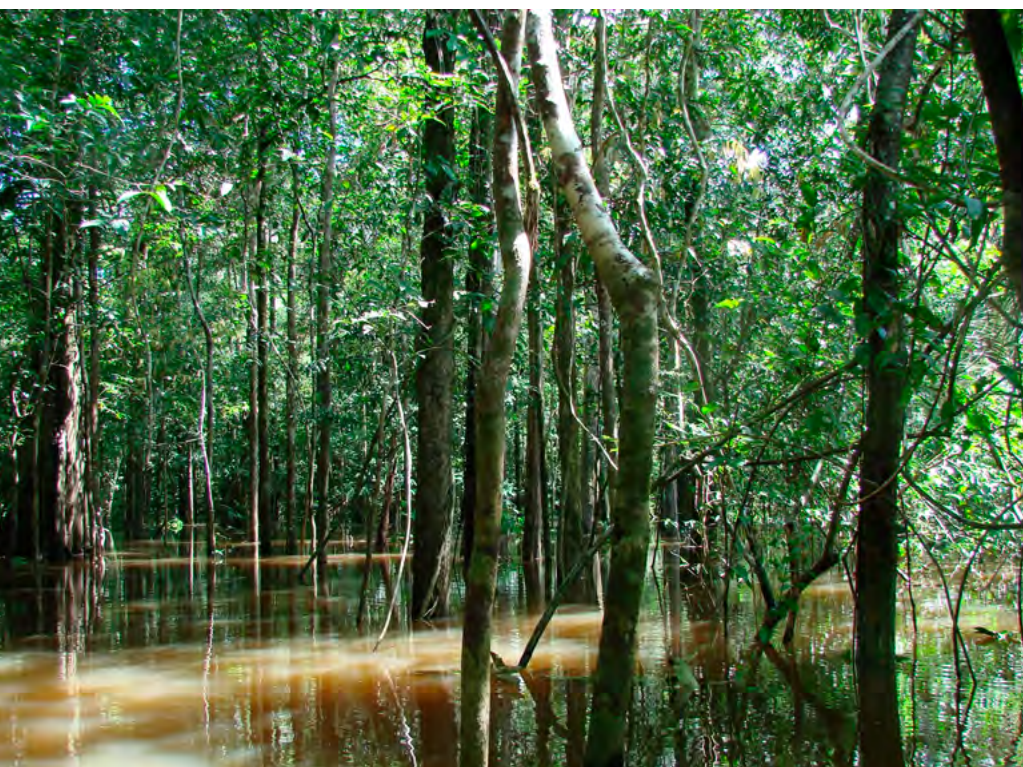


FIGURA 2 Amazónia, floresta de várzea no período de alagamento. Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas, Brasil. Autoria: Maria João Ramos Pereira.

De facto, o voo permitiu aos morcegos uma verdadeira exploração tridimensional do espaço. Os muitos e diversos estratos verticais existentes principalmente nas florestas tropicais, cujas árvores mais altas podem alcançar 70 metros, abrem a possibilidade de exploração de diferentes nichos verticais por diferentes espécies; ou seja, parte do que explica a riqueza de morcegos nas florestas tropicais é exatamente a possibilidade de ‘distribuir’ as espécies na dimensão altura, o que nem sempre está acessível a outros grupos animais. Alguns dos nossos trabalhos mostram que nas florestas neotropicais há morcegos mais típicos do subcoberto, (Figura 1) que se abrigam em plantas e se alimentam nos estratos mais baixos, por exemplo de vertebrados ou invertebrados no solo ou de frutos de arbustos; por outro lado, existem espécies que ocorrem preferencialmente nos estratos mais altos (Figura 4), alimentando-se de frutos das copas das árvores ou de insetos que voam muito acima da copa, eventualmente arrastados em altura pelas correntes quentes atmosféricas (Ramos Pereira *et al.* 2010, Marques *et al.* 2016).

As inovações-chave que conduziram à diversificação dos morcegos na mega-diversa região neotropical foram muitas, algumas muito profundas no que respeita, por exemplo, ao binómio forma-função, como a forma do crânio e,



FIGURA 3 Floresta Atlântica, detalhe da menos conhecida mata de araucária (*Araucaria angustifolia*), com ocorrência nos planaltos de altitude da região sul brasileira. Canion do Itaimbezinho, Parque Nacional de Aparados da Serra, Rio Grande do Sul/Santa Catarina, Brasil. Autoria: Danielle Franco.



FIGURA 4 *Uroderma bilobatum*, morcego frugívoro que se alimenta principalmente de frutos na copa das árvores. Autoria: Maria João Ramos Pereira.

a ela associada, a força da mordida, e surgiram num curto espaço de tempo evolutivo – poucos milhões de anos (Monteiro & Nogueira 2011). Num estudo recente, investigámos a relação entre a dieta das espécies de morcegos da superfamília Noctilionoidea e o processo de surgimento de novas espécies (Rojas *et al.* 2018). Os resultados desse trabalho indicam que uma dieta herbívora altamente variada (incluindo, por exemplo, frutas, néctar e pólen) ou uma dieta predominantemente herbívora (podendo incluir alguns recursos animais), tende a ser mais favorável à formação de novas espécies. Por outro lado, quando os morcegos se especializam num único tipo de item vegetal, a taxa de formação de novas espécies tende a declinar. Portanto, a herbivoria generalista ou a omnivoria moderadamente animalívora (isto é, uma dieta generalista, com itens vegetais e moderadamente dependente de itens animais – vertebrados e invertebrados) favorecem o aumento da diversidade de espécies num cenário evolutivo, possivelmente porque essa estratégia é uma forma de seguro contra os padrões erráticos e imprevisíveis de floração e frutificação de plantas no Neotrópico. Contudo, a especialização não é um beco sem saída evolutivo. Além disso, e apesar das ameaças à conservação da diversidade de morcegos resultantes da ação humana – como veremos mais adiante – essa taxa de surgimento de novas espécies no Neotrópico não parece estar a diminuir, muito pelo contrário. Efetivamente, nalguns como os Vespertilionidae, uma família de morcegos cosmopolita, essa taxa de especiação tem vindo a aumentar de forma constante desde há cerca de 20 milhões de anos (Cardoso 2021).

3 O MOSAICISMO HORIZONTAL: MORCEGOS EM FITOFISIONOMIAS ABERTAS

Nos últimos anos, temo-nos concentrado no estudo da composição, estrutura e funcionalidade das assembleias de morcegos em ecossistemas neotropicais caracterizados por fisionomias abertas. Um deles é o famoso Pantanal (Figura 5), a maior planície aluvial do mundo onde, sazonalmente, os morcegos são confrontados com uma marcada alternância entre uma grande abundância e longos períodos de escassez de água. Efetivamente, aqui a sazonalidade térmica, mas principalmente a sazonalidade das chuvas, é marcada, com a pluviosidade muito concentrada entre os meses de novembro e abril. A inundação inicia a meio da estação das chuvas e atinge o seu pico em março ou abril, dependendo não só dos níveis de pluviosidade, mas também da drenagem das diferentes regiões dos planaltos que circundam a planície de inundação. A inundação pode cobrir até 85% da paisagem terrestre e as águas podem atingir 5 metros de profundidade. No restante do ano, a região sofre stress hídrico acentuado e a seca extrema mais recente, em 2020, foi acentuada por incêndios de grande dimensão, muitos

FIGURA 5 Vista aérea do Pantanal. Mato Grosso do Sul, Brasil. Autoria: Olivier Grunewald.





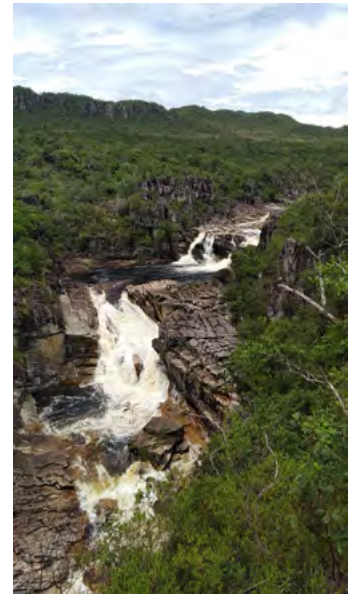
FIGURA 6 *Noctilio albiventris*, morcego insectívoro. Autoria: Roberto Leonan Morim Novaes.

com origem criminosa, destruindo nove vezes mais do que o desmatamento dos dois anos anteriores (Libonati *et al.* 2020). No Pantanal, os morcegos representam cerca de 40% das espécies de mamíferos presentes e, como ocorre com muitos outros mamíferos e também aves, a fauna de morcegos é composta principalmente por espécies que parecem ter tido origem nos domínios vizinhos do Cerrado, Chaco, Amazônia e Floresta Atlântica. Se considerarmos o Pantanal e os planaltos circundantes, a riqueza de morcegos da região é impressionante, uma das maiores do mundo: cerca de 90 espécies (Fischer *et al.* 2018). Além disso, o Pantanal apresenta elevada riqueza de morcegos por unidade de área e esse padrão parece ser comum noutros vertebrados. Portanto, embora o Pantanal não apresente elevados níveis de endemismo, a sua localização geográfica torna-o num dos mais biodiversos ecossistemas por unidade de área quando comparado com outros ecossistemas da América do Sul. A variação no regime hidrológico e a influência da drenagem das diferentes sub-bacias dos planaltos conduzem à substituição das espécies de morcegos de acordo com as sub-regiões do Pantanal (Fischer *et al.* 2018). Por exemplo, algumas espécies foram registadas apenas em sub-regiões próximas das suas distribuições geográficas conhecidas fora do Pantanal. Sete espécies de molossídeos ocorrem apenas nas regiões sul e sudoeste e tal distribuição, particularmente de algumas espécies do género *Eumops*, molossídeos de grande dimensão, está provavelmente relacionada com rotas de dispersão do Chaco e do leste dos Andes para o Pantanal. Outras espécies, como *Trachops cirrhosus*, um morcego carnívoro, famoso por caçar anfíbios que deteta através dos chamamentos de acasalamento dos machos, foi registado apenas no norte do Pantanal, suportando a predição de rotas de entrada via Amazônia e norte do Cerrado. *Mimon bennettii* e *Vampyressa pusilla* foram registadas apenas na sub-região sudeste em direção ao centro da sua distribuição na Floresta Atlântica do sudeste brasileiro.

Além disso, os padrões de densidade de espécies são bastante distintos dos outros ecossistemas neotropicais – aqui existe uma abundância marcada de insetívoros na planície de inundação (por exemplo, *Noctilio albiventris*; Figura 6), contrastando com os padrões encontrados na Amazônia, Floresta Atlântica e Cerrado, onde os frugívoros são consistentemente o grupo mais capturado através de redes de neblina. Um padrão interessante que encontramos na paisagem do Pantanal é um sutil gradiente de vegetação de áreas mais abertas para áreas mais florestadas, ao qual as assembleias de morcegos respondem tal como ocorre nas florestas da Amazônia Central. Locais densamente florestados apresentam maior riqueza e abundância de algumas espécies, particularmente de Phyllostomidae, uma família de morcegos especializados em voar em espaços fechados. Nas fisionomias abertas dominam os insetívoros aéreos, Vespertilionidae e Molossidae (Fischer *et al.* 2018).

O Cerrado (Figura 7) é um dos *hotspots* de biodiversidade do mundo e o segundo maior domínio da América do Sul, abrigando mais de 10000 espécies de plantas, das quais 44% são endêmicas (Myers *et al.* 2000). Embora o valor florístico do Cerrado seja há muito reconhecido, a sua fauna já foi considerada empobrecida, especialmente quando comparada com a da Amazônia ou a da Mata Atlântica (Redford & Fonseca 1986; Vitt & Caldwell 1993). No entanto, nas últimas duas décadas, muitos estudos demonstraram a riqueza das comunidades animais do Cerrado, associadas à sua diversificada flora (*e.g.*, Nogueira *et al.* 2009; Azevedo *et al.* 2016), sendo que este domínio alberga de forma exclusiva a única espécie de morcego classificada como em perigo de

FIGURA 7 a) Cerrado *sensu stricto*, ambiente tipicamente savânico. Parque Estadual do Lajeado, Tocantins, Brasil; b) Curso de água no Cerrado. Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás, Brasil. O Cerrado abriga inúmeras nascentes que alimentam as principais bacias hidrográficas brasileiras e sul-americanas, motivo pelo qual é denominado “berço das águas do Brasil”. Autoria: Maria João Ramos Pereira.





Em última instância, é o mosaicismo do Cerrado que contribui para elevados níveis de diversidade de morcegos à escala regional.”



extinção no Brasil, adequadamente designado por morceguinho-do-cerrado (*Lonchophylla dekeyseri*; Aguiar & Bernard 2016). Apesar de dominado por vegetação do tipo savânico, o Cerrado apresenta diversas fitofisionomias, ou seja, ambientes de vegetação constituída por diferentes espécies que ocorrem em solos de composição distinta, criando paisagens diferentes, e que vão desde campos rasos e campos rochosos a savanas e formações florestais (Oliveira-Filho & Ratter 2002). Recentemente, comparámos as assembleias de morcegos entre fitofisionomias do Cerrado, incluindo o cerrado *sensu stricto*, um ambiente savânico, o cerradão, um ambiente florestal com 50% a 90% de árvores com herbáceas e arbustos dispersos, e a mata de galeria, um ambiente constituído por faixas estreitas e bem definidas (não mais do que 100 m de largura) ao longo de riachos, apresentando alta cobertura arbórea que pode atingir até 20 m a 30 m ao nível da copa (Ramos Pereira *et al.* 2018). No entanto, como os processos por detrás dos padrões de estruturação de comunidades atuam sobre redundâncias ecológicas e complementaridades de organismos e não apenas, ou necessariamente, sobre o número de espécies presentes numa determinada região, focámos quer na diversidade taxonómica (relativa ao número de espécies diferentes), quer nas diversidades funcional (diversidade de formas e características das espécies) e filogenética (das relações evolutivas) de morcegos. Não encontramos diferenças significativas entre fitofisionomias para as diferentes métricas das três facetas de diversidade, quer para os morcegos forrageadores de espaço fechado, amostrados através de redes de neblina, quer para os morcegos forrageadores de orla e espaço aberto, detetados através de monitorização acústica. Embora o Cerrado já fosse reconhecido como um *hotspot* para morcegos à escala regional, abrigando mais de 100 espécies (Paglia *et al.* 2012; Aguiar *et al.* 2016), subsistia a ideia de que, localmente, as assembleias de morcegos nas savanas neotropicais eram muito mais pobres do que as das florestas (Marinho-Filho & Guimarães 2001; Aguirre *et al.* 2002), o que se suportava na ideia de que a riqueza local de morcegos estaria associada à complexidade resultante da estruturação vertical, como referido anteriormente (Ramos Pereira *et al.* 2010; Fahr & Kalko 2011). Contudo, o nosso trabalho demonstrou que não só algumas fitofisionomias do Cerrado também apresentam alta complexidade estrutural ao longo do eixo vertical, mas também que fisionomias mais abertas apresentam notável heterogeneidade horizontal, sendo, portanto, igualmente

ricas em espécies. Em última instância, é o mosaicismo do Cerrado que contribui para elevados níveis de diversidade de morcegos à escala regional.

Atualmente, estamos a finalizar um projeto cujo objetivo central é desvendar a diversidade oculta de morcegos do Pampa (Figura 8), o bioma formalmente menos protegido de todos os biomas brasileiros, representando apenas 0,36% da área continental brasileira protegida por unidades de conservação (Overbeck *et al.* 2007, 2015). Embora o Pampa seja um conjunto de ecossistemas muito antigos (Chernicoff & Zappettini 2004), e amplamente estudado do ponto de vista da flora e sua relação com a ocupação humana (Leidinger *et al.* 2017) existem grandes lacunas no conhecimento sobre a distribuição geográfica e padrões de ocorrência de vários animais (Queirolo 2016; Tirelli *et al.* 2018), em particular de morcegos (Bernard *et al.* 2011). Os nossos resultados preliminares apontam para uma riqueza de morcegos acima do anteriormente estimado, incluindo possivelmente uma nova espécie endêmica da ecorregião da Savana Uruguaia - *Myotis pampa* (Novaes *et al.* 2021), e uma influência marcada de aspetos de heterogeneidade, conectividade e preservação da paisagem sobre a ocupação de morcegos que usam o espaço aéreo de forma distinta (Costa 2021).

FIGURA 8 Pampa, campo e mata de espinilho (*Vachellia caven*). Quaraí, Rio Grande do Sul, Brasil. Autoria: Cíntia Fernanda da Costa.



4 ÉDEN EM RISCO: IMPACTOS DAS AÇÕES HUMANAS SOBRE OS MORCEGOS NEOTROPICAIS

Atualmente, uma das nossas linhas principais de investigação consiste em avaliar o papel dos processos contemporâneos no aparecimento ou desaparecimento de espécies e na evolução de características das espécies. Dentro destes processos contemporâneos investigamos, maioritariamente, os efeitos da perda, da fragmentação e da conversão de habitats na manutenção da diversidade de espécies de morcegos ao longo do tempo.

Entre 1985 e 2019, o Brasil perdeu 87 milhões de hectares de vegetação nativa, dos quais mais de 90% foram convertidos para atividades agropecuárias. Como indicado no infográfico da iniciativa MapBiomass (Souza *et al.* 2020; Figura 9), isso representa três vezes e meia a área do estado de São Paulo ou quase dez vezes a área de Portugal.

Nos trabalhos que desenvolvemos no Cerrado, verificámos extinções locais de espécies mesmo após alterações moderadas da paisagem, e empobrecimento acentuado (ou total) das assembleias de morcegos quando as alterações na paisagem são profundas (Arias-Aguilar 2017; Ramos Pereira *et al.* 2018). De um modo geral, as primeiras espécies a desaparecer de determinada assembleia são as especialistas, ecologicamente distintas e que fornecem serviços ecossistémicos que não são realizados por nenhuma outra espécie, aquilo a que chamamos perda de diversidade funcional. Por serem tão diversos ecologicamente, os morcegos são responsáveis por inúmeros serviços ecossistémicos incluindo polinização, dispersão de sementes, controlo de pragas agrícolas e transporte de nutrientes para ambientes cavernícolas (Kunz *et al.* 2011, Castillo-Figueroa 2020). O Programa Ambiental das Nações Unidas (www.unep.org) estima que mais de 95% da regeneração florestal em florestas tropicais seja realizada por morcegos, até porque algumas plantas coevoluíram com os morcegos de tal modo que a taxa de germinação das suas sementes aumenta após passar pelo trato digestivo destes animais (Saldaña-Vázquez *et al.* 2019). Estima-se ainda que o valor do serviço prestado pelos morcegos no controlo de pragas agrícolas seja de vários milhões de euros anualmente (Boyles *et al.* 2011). Recentemente, através de análises de metabarcoding de ADN, Aguiar *et al.* (2021) estimaram que morcegos insetívoros, ao predarem pragas agrícolas, economizam pelo menos 94 dólares por hectare de campos de milho no Brasil, representando uma economia anual

Vários estudos têm apontado que a própria perda de biodiversidade está associada à transmissão de doenças. O termo Saúde Única (One Health) foi cunhado em 2008 numa iniciativa conjunta da Organização Mundial da Saúde (OMS), da Organização Mundial da Saúde Animal (OIE) e da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), suportado na ideia de que a saúde pública é dependente do equilíbrio entre a saúde humana, a saúde animal e a saúde ambiental. Vários trabalhos têm apontado no sentido de que o surgimento de pandemias de origem zoonótica não resulta da presença direta de animais, e ainda menos de elevados níveis de diversidade biológica, mas sim da ação humana e da forma como interagimos com o meio natural (Keesing & Ostfeld 2021). Efetivamente, a redução no número de espécies e seus habitats parece ser muito mais promotora da disseminação dessas doenças. Alguns estudos apontam para que, quando a biodiversidade é elevada, ou seja, quando existem várias espécies hospedeiras potenciais de um mesmo vírus (ou suas variantes), a taxa de encontro entre indivíduos infetados e indivíduos suscetíveis de serem infetados diminui (Ostfeld & Keesing 2000, Schmidt & Ostfeld 2001). Inclusive, foi recentemente proposto que a extinção da fauna de mamíferos de grande dimensão no Pleistoceno conduziu ao aumento de doenças de origem animal em humanos (Doughty *et al.* 2020).

Tão grave quanto perder biodiversidade, ou talvez mais grave, é perdê-la sem sequer a conhecermos. E, de facto, reconhecem-se atualmente sete grandes défices no conhecimento sobre a biodiversidade: Linneano (taxonomia), Wallaceano (distribuição), Prestoniano (abundância), Darwiniano (padrões evolutivos), Hutchinsoniano (respostas e tolerâncias a factores abióticos), Raunkiaerano (atributos e funções ecológicas) e Eltoniano (interações bióticas) (Hortal *et al.* 2015). O Brasil está entre os três países mais ricos em espécies de morcegos, mas apenas cerca de 10% do seu enorme território foi minimamente amostrado para morcegos e para quase 60% não há um único registro deste grupo (Bernard *et al.* 2011). Esta lacuna parece ser comum noutros países da região neotropical, particularmente na América do Sul. Portanto, basicamente enfrentamos sérios défices Linneano e Wallaceano no Neotrópico, particularmente num cenário de rápida mudança da paisagem devido a alterações antrópicas.

Os défices Linneano e Wallaceano impõem fortes restrições à implementação de ações eficazes de gestão e conservação de morcegos. Expedições de campo em áreas remotas ou com amostragem deficiente são uma forma de obter dados sobre a ocorrência de espécies, potencialmente novas espécies, mas isso é demorado e geralmente muito caro. Então, por onde começar? Recentemente tentámos prever onde existe maior probabilidade de encontrarmos novas espécies de morcegos no Brasil e, conjuntamente, estimar onde é que a pegada humana é mais forte, para definirmos prioridades para a procura destas potenciais novas espécies (Aguiar *et al.* 2020). Em primeiro lugar, observámos as características dos ambientes onde novas

espécies de morcegos foram descritas nos últimos 10 anos; verificámos que essas características são relativamente diferentes daquelas dos locais onde outras espécies de morcegos foram descritas em períodos anteriores. Em seguida, cruzámos esses lugares de características mais distintas com um mapa da pegada humana. Ou seja, usámos o conceito de complementaridade ambiental para identificar regiões não-amostradas para morcegos, ambientalmente distintas das já amostradas no Brasil. Com isso, previmos regiões onde há alta probabilidade de encontrar novas espécies de morcegos, ainda desconhecidas pela ciência, mas provavelmente já muito ameaçadas pelas ações antrópicas. Se definirmos prioridades temporais para os inventários de campo, verificamos que regiões como o Norte do Cerrado e a Caatinga Ocidental são os *hotspots* para inventários de morcegos no Brasil (Aguiar *et al.* 2020). Vários destes locais coincidem com boa parte das 300 000 cavernas estimadas para ocorrerem no Brasil, das quais apenas 20 000 se encontram registadas no cadastro nacional de cavernas do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Considerando que em 2020 o Ministério de Minas e Energia anunciou um novo Plano de Mineração para o país, que pressupõe a expansão de atividades mineradoras para terras indígenas e áreas-tampão de áreas protegidas, onde atualmente são proibidas, a necessidade de novos inventários nestas regiões torna-se ainda mais urgente.

Se a realização de novos inventários é crucial, é igualmente crucial realizá-los com qualidade. Por muitos anos, os inventários de morcegos no Brasil dependeram principalmente de capturas utilizando redes de neblina e, em menor escala, da busca por abrigos. Contudo, uma percentagem significativa das espécies de morcegos apresenta baixa capturabilidade em redes e os seus abrigos são frequentemente difíceis de encontrar. Tal é particularmente verdade para os morcegos forrageadores de espaço aberto ou de orla, à qual pertencem principalmente espécies das famílias Emballonuridae, Molossididae e Vespertilionidae (Kalko & Handley 2001). Contudo, muitas destas espécies são razoavelmente fáceis de detetar acusticamente e de identificar através da análise dos seus chamamentos de ecolocalização. Através de uma parceria internacional, com base em dados próprios acumulados há mais de uma década e numa profunda revisão bibliográfica, compilámos os chamamentos de navegação emitidos por 65 espécies de oito das nove famílias de morcegos encontradas no Brasil (Arias-Aguilar *et al.* 2018), o que tem servido de suporte a muitos investigadores para realizarem identificações de morcegos com base em monitorizações acústicas. Este esforço já permitiu colmatar lacunas no conhecimento sobre a distribuição de espécies, o acima referido défice Wallaceano (Hintze *et al.* 2019), auxiliando na conservação de morcegos, ao possibilitar um refinamento da identificação de áreas prioritárias para preservação de biodiversidade e subsidiando discussões sobre licenciamentos ambientais de grandes obras, em particular de complexos eólicos (Ramos Pereira *et al.* 2017).

Nem sempre a realização de levantamentos faunísticos detalhados é possível, particularmente quando estamos restringidos pelos curtos tempos atribuídos aos processos de avaliação de impacto ambiental. Embora longe do ideal, em algumas situações seremos obrigados a procurar espécies comuns, de fácil detecção, que possam ser usadas como sinalizadoras do estado das assembleias de morcegos como um todo. De facto, cada vez mais tem sido apontado que os processos que moldam a diversidade de espécies são semelhantes àqueles que moldam a diversidade genética; na ecologia de comunidades, os processos que moldam o arranjo das espécies são a deriva da comunidade, a migração, os mecanismos de coexistência e a especiação e, na genética populacional, os processos equivalentes são a deriva genética, o fluxo genético, a seleção natural e a mutação, respetivamente. Vellend (2003) colocou a hipótese de que a diversidade de espécies numa determinada comunidade e a diversidade genética das populações das espécies dessa comunidade devem variar na mesma direção, um fenómeno que ele denominou correlação diversidade de espécies-diversidade genética, e que resultaria de influências semelhantes das características do ambiente sobre os dois níveis de biodiversidade. Então, dados sobre essa correlação poderão ser úteis para inferir padrões de diversidade para morcegos com base nalgumas espécies comuns, ecologicamente semelhantes a outras que raramente são amostradas. Neste contexto, recentemente avaliámos a existência de correlação entre a diversidade genética de duas espécies de Phyllostomidae, comuns e amplamente distribuídas, *Carollia perspicillata* e *Artibeus planirostris* e a diversidade de espécies em assembleias de morcegos da Serra da Bodoquena, uma região que ainda mantém grandes áreas de vegetação nativa compostas principalmente por florestas decíduais e semidecíduais, incluindo o maior remanescente de Floresta Atlântica no estado do Mato Grosso do Sul, além de cerradão e cerrado *sensu stricto*, mas já impactada pela agropecuária (Lino *et al.* 2021). Encontrámos correlação positiva entre a diversidade genética de *C. perspicillata* e a diversidade de espécies das assembleias de Phyllostomidae da Serra da Bodoquena, mas não detetámos a mesma correlação ou, quando ocorreu, foi negativa, para *A. planirostris*. Adicionalmente,



Considerando que em 2020 o Ministério de Minas e Energia anunciou um novo Plano de Mineração para o país, que pressupõe a expansão de atividades mineradoras para terras indígenas e áreas-tampão de áreas protegidas, onde atualmente são proibidas, a necessidade de novos inventários nestas regiões torna-se ainda mais urgente.”

os nossos resultados mostram que as populações de *C. perspicillata* respondem a mudanças na paisagem a escalas relativamente pequenas, enquanto as de *A. planirostris* deverão responder a outras variáveis da paisagem ou em escalas espaciais não analisadas por nós. O que é relevante reter aqui é que se, e quando, as populações de *C. perspicillata*, amplamente distribuída e abundante localmente no Neotrópico, forem afetadas por mudanças no uso da terra, outras espécies na assembleia responderão (ou já terão respondido) de forma similar. Assim, espécies aparentemente comuns poderão funcionar como sinalizadoras do estado das assembleias como um todo.

Finalizo com uma nota pessoal: o financiamento para a conservação em geral prioriza espécies ameaçadas, já que extinções de espécies são irreversíveis (Figura 10). A extinção é um forte motivador das políticas



FIGURA 10 Infografia utilizada em ações de divulgação e educação ambiental demonstrando as consequências da perda de diversidade de espécies para os perfis paisagísticos e os serviços ecossistêmicos. Note-se, no canto superior direito, a ilustração do morcegoinho-do-cerrado, *Lonchophylla dekeyseri*, endemismo brasileiro, categorizado globalmente como em perigo de extinção. Autoria: Adriana Arias-Aguilar e Maria João Ramos Pereira.

conservacionistas, como aliás deve ser. Contudo, como acima referido, a perda de biodiversidade não se reflete apenas na perda de espécies, mas também na perda de serviços ecossistémicos essenciais (Dirzo *et al.* 2014). Particularmente em ecossistemas depauperados e áreas fortemente humanizadas, muitos destes serviços são fornecidos por espécies não ameaçadas, muitas vezes comuns, para as quais o financiamento para conservação e até mesmo para investigação é limitado ou inexistente. Como vimos em Lino e colaboradores (2021), tais espécies não devem ser negligenciadas do ponto de vista do financiamento para investigação e conservação, pois podem estar a prestar serviços importantes, inclusive sinalizando o que está a ocorrer para o conjunto das espécies de determinada comunidade biológica.



A perda de biodiversidade não se reflete apenas na perda de espécies, mas também na perda de serviços ecossistémicos essenciais. Particularmente em ecossistemas depauperados e áreas fortemente humanizadas, muitos destes serviços são fornecidos por espécies não ameaçadas, muitas vezes comuns, para as quais o financiamento para conservação e até mesmo para investigação é limitado ou inexistente.”



Agradecimentos

Este texto sumariza alguns aspetos de uma caminhada de cerca de 15 anos de investigação sobre morcegos na região neotropical. Como não poderia deixar de ser, ao longo de tantos anos, trabalhei com dezenas de parceiros, de mentores a orientados, de colaboradores a ajudantes de campo. Todas essas pessoas são coautoras ou mencionadas nos artigos correspondentes aos principais trabalhos aqui destacados ou são autoras das fotografias aqui partilhadas. Assim, evitando correr o risco de esquecer-me de alguém, agradeço aqui a todos aqueles que de uma forma ou de outra me acompanharam e acompanham nesta incrível caminhada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar LMS & Bernard E (2016). *Lonchophylla dekeyseri*. The IUCN Red List of Threatened Species, e.T12264A22038149.
- Aguiar LMS *et al.* (2016). Should I stay or should I go? Climate change effects on the future of Neotropical savannah bats. *Global Ecology and Conservation*, 5, 22-33.
- Aguiar LMS *et al.* (2020). Where are the bats? An environmental complementarity analysis in a mega-diverse country. *Diversity & Distributions*, 26, 1510-1522.
- Aguiar LMS *et al.* (2021). Going out for dinner – The consumption of agriculture pests by bats in urban areas. *PLoS ONE*, 16(10), e0258066.
- Aguirre LF *et al.* (2002). Ecomorphological analysis of trophic niche partitioning in a tropical savannah bat community. *Proceedings of the Royal Society London – Series B*, 269, 1271-1278.
- Arias-Aguilar A (2017). Morcegos insetívoros aéreos neotropicais: identificação acústica e padrões de estruturação de assembleias. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/163714/001020640.pdf?sequence=1>
- Arias-Aguilar A *et al.* (2018). Who's calling? Acoustic identification of Brazilian bats. *Mammal Research*, 63, 231-253.
- Azevedo JAR *et al.* (2016). Biogeography of anurans and squamates in the Cerrado hotspot: coincident endemism patterns in the richest and most impacted savanna on the globe. *Journal of Biogeography*, 43, 2454-2464.
- Baker RJ *et al.* (1989). Phylogenetic relationships and classification of the higher categories of the New World bat family Phyllostomidae. *Systematic Zoology*, 38, 228-238.
- Bernard E *et al.* (2011). Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries? *Mammal Review*, 41, 23-39.
- Boyles JG *et al.* (2011). Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332, 41-42.
- Cardoso R (2021). Padrões e processos ecológicos e evolutivos na diversidade de morcegos do Novo Mundo. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Castillo-Figueroa D (2020). Why bats matters: A critical assessment of bat-mediated ecological processes in the Neotropics. *European Journal of Ecology*, 6, 77-101.
- Chernicoff CJ & Zappettini EO (2004). Geophysical evidence for terrane boundaries in south-central Argentina. *Gondwana Research*, 7, 1105-1116.
- Costa C (2021). Aerial insectivorous bats in the Brazilian-Uruguayan savanna: responses to landscape structure and microclimate. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Dirzo R *et al.* (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401-406.
- Doughty CE *et al.* (2020). Megafauna decline have reduced pathogen dispersal which may have increased emergent infectious diseases. *Ecography*, 43, 1107-1117.
- Dumont ER *et al.* (2012). Morphological innovation, diversification and invasion of a new adaptive zone. *Proceedings of the Royal Society London – Series B*, 279, 1797-1805.
- Emmons L (1990) Neotropical Rainforest Mammals. A Field Guide. University of Chicago Press.
- Fam BSO *et al.* (2020). ACE2 diversity in placental mammals reveals the evolutionary strategy of SARS-CoV-2. *Genetics and Molecular Biology*, 43, e20200104.
- Fahr J & Kalko EKV (2011). Biome transitions as centres of diversity: habitat heterogeneity and diversity patterns of West African bat assemblages across spatial scales. *Ecography*, 34, 177-195.
- Fischer E *et al.* (2018). Bats in the dry and wet Pantanal. *Hystrix*, 29, 11-17.

- Freeman PW (2000). Macroevolution in Microchiroptera: recoupling morphology and ecology with phylogeny. *Evolutionary Ecology Research*, 2, 317-335. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/museummammalogy/8>
- Hintze F *et al.* (2019) Molossid unlimited: extraordinary extension of range and unusual vocalization patterns of the bat *Promops centralis*. *Journal of Mammalogy*, 101, 417-432.
- Hortal J *et al.* (2015). Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 523-549.
- Irving T *et al.* (2021). Lessons from the host defenses of bats, a unique viral reservoir. *Nature*, 589, 363-370.
- Kalko EK & Handley CO (2001). Neotropical bats in the canopy: diversity, community structure, and implications for conservation. *Plant Ecology*, 153, 319-333.
- Keesing F & Ostfeld RS (2021). Impacts of biodiversity and biodiversity loss on zoonotic diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (17), e2023540118.
- Kunz TH *et al.* (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223, 1-38.
- Leidinger JLG *et al.* (2017). Historical and recent land use affects ecosystem functions in subtropical grasslands in Brazil. *Ecosphere*, 8(12), e02032.
- Libonati R *et al.* (2020). Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, 588, 217-219.
- Lim BK & Engstrom M (2001). Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in Iwokrama Forest, Guyana, and the Guianan subregion: Implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 10, 613-657.
- Lino A *et al.* (2021). Species–genetic diversity correlation in phyllostomid bats of the Bodoquena plateau, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 30, 403-429.
- Losos JB (2010). Adaptive radiation, ecological opportunity, and evolutionary determinism. *The American Naturalist*, 175, 623-639. doi: 10.1086/652433
- Marinho-Filho J & Guimarães MM (2001). Mamíferos das matas de galeria e das matas ciliares do Distrito Federal. Em: Ribeiro JF, Fonseca CEL & Souza-Silva JC (eds). *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. Embrapa Cerrados.
- Marques JT *et al.* (2016). Patterns in the use of rainforest vertical space by Neotropical aerial insectivorous bats: all the action is up in the canopy. *Ecography*, 39, 476-486.
- Monteiro LR & Nogueira MR (2011). Evolutionary patterns and processes in the radiation of phyllostomid bats. *BMC Evolutionary Biology*, 11, 137.
- Myers N *et al.* (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- Nogueira C *et al.* (2009). Local richness and distribution of the lizard fauna in natural habitat mosaics of the Brazilian Cerrado. *Austral Ecology*, 34, 83-96.
- Novaes RLM *et al.* (2021). A new species of *Myotis* (Chiroptera, Vespertilionidae) from Uruguay. *Vertebrate Zoology*, 71, 711-722.
- Oliveira-Filho AT & Ratter JA (2002). Vegetation Physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. Em: Oliveira PS & Marquis RJ (eds.) *The Cerrados of Brazil – Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press.
- Ostfeld RS & Keesing F (2000). Biodiversity and disease risk: the case of Lyme disease. *Conservation Biology*, 14, 722– 728.
- Overbeck GE *et al.* (2007). Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9, 101-116.
- Overbeck GE *et al.* (2015). Conservation in Brazil needs to include non forest ecosystems. *Diversity and Distributions*, 21, 1455-1460.

- Paglia AP *et al.* (2012). Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil / Annotated Checklist of Brazilian Mammals. 2ª Edição / 2nd Edition. Occasional Papers in Conservation Biology 6. Conservation International.
- Queirolo D (2016) Diversidade e padrões de distribuição de mamíferos dos campos do Uruguai e sul do Brasil. *Boletín de la Sociedad Zoológica Uruguay*, 25, 92-146.
- Ramos Pereira MJ *et al.* (2017). Guidelines for consideration of bats in environmental impact assessment of wind farms in Brazil: a collaborative governance experience from Rio Grande do Sul. *Oecologia Australis*, 21, 232-255.
- Ramos Pereira MJ *et al.* (2018). Loss of multiple dimensions of bat diversity under land-use intensification in the Brazilian Cerrado. *Hystrix*, 29, 25-32.
- Ramos Pereira MJ *et al.* (2010). Vertical stratification of bat assemblages in flooded and unflooded Amazonian forests. *Current Zoology*, 56, 469-478.
- Ramos Pereira MJ *et al.* (2009). Structuring of Amazonian bat assemblages: the roles of flooding patterns and floodwater nutrient load. *Journal of Animal Ecology*, 78, 1163-1171.
- Redford KH & Fonseca GAB (1986). The role of gallery forests in the Zoogeography of the Cerrado's non-volant Mammalian Fauna. *Biotropica*, 18, 126-135.
- Rojas D *et al.* (2018). Eating down the food chain: generalism is not an evolutionary dead end for herbivores. *Ecology Letters* 21, 402-410.
- Saldaña-Vázquez RA *et al.* (2019). Does seed ingestion by bats enhance germination? A new meta-analysis 15 years later. *Mammal Review*, 49, 201-209.
- Schmidt KA & Ostfeld RS (2001). Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology*, 82, 609-619.
- Simmons NB (2005). An Eocene big bang for bats. *Science*, 307, 527-528.
- Simmons NB & Conway TM (2003). Evolution of ecological diversity in bats. Em: Kunz TH, Fenton MB (eds.). *Bat Ecology*. University of Chicago Press.
- Simmons NB *et al.* (2008). Primitive Early Eocene bat from Wyoming and the evolution of flight and echolocation. *Nature*, 451, 818-822.
- Simpson GG (1953). *The major features of evolution*. University Press.
- Souza CM Jr *et al.* (2020) Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735.
- Speakman RJ (2001). The evolution of flight and echolocation in bats: another leap in the dark. *Mammal Review*, 31, 111-130.
- Teeling EC *et al.* (2005). A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record. *Science*, 307, 580-584.
- Tirelli FP *et al.* (2018). Spatial organization and social dynamics of Geoffroy's cat in the Brazilian pampas. *Journal of Mammalogy*, 99, 859-873.
- Vellend M (2003). Island biogeography of genes and species. *American Naturalist*, 162, 358-365.
- Vitt LJ & Caldwell JP (1993). Ecological observations on Cerrado lizards in Rondonia. *Brazilian Journal of Herpetology*, 27, 46-52.
- von Hagen KB & Kadereit JW (2003). The diversification of *Halenia* (Gentianaceae): ecological opportunity versus key innovation. *Evolution*, 57, 2507-2518.
- Zhou P *et al.* (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature*, 579, 270-273.