

DESERTIFICAÇÃO E DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL: conhecimentos acumulados e desafios vigentes

DESERTIFICATION AND DYNAMICS OF VEGETABLE COVERAGE: accumulated knowledge and current challenges

DESERTIFICACIÓN Y DINÁMICA DE LA COBERTURA VEGETAL: conocimientos acumulados y desafíos actuales

RESUMO

Desertificação é um tipo de degradação intensa passível de ocorrer em zonas de clima seco. Este trabalho teve o objetivo de fazer um levantamento sobre o estado da arte até o momento existente sobre essa questão ambiental, destacando como ela tem se processado especialmente no bioma Caatinga, a partir das relações dinâmicas entre a vegetação, os solos e a forma como esses recursos são utilizados pela população. A metodologia foi baseada na análise de diversos trabalhos científicos, considerados os mais relevantes pelo autor da pesquisa. Os resultados identificaram que a desertificação é o resultado, em parte, da falta de conhecimento de formas sustentáveis de usos dos recursos naturais, passando por questões relacionadas às demandas nacional e mundial por determinadas commodities, assim como a diversos problemas das estruturas sociais e econômicas históricas ainda hoje persistentes entre os habitantes da Caatinga, agravados por intervenções governamentais que, no geral, tem intensificado muitos efeitos ambientais negativos, com possibilidade de piora dessa situação, em virtude das mudanças climáticas previstas. Como solução, recomenda-se a elevação do investimento em Ciência para melhorar a compreensão do funcionamento desse bioma, subsidiando as formas de intervenção nessas terras, e de um amplo debate político nacional entre os gestores e a sociedade civil organizada, capaz de trazer resultados positivos e sustentáveis de uso dos recursos naturais para essa parte do país.

Palavras-chave: Zonas Secas; Vegetação; Solos; Degradação Intensa; Caatinga.

ABSTRACT

Desertification is a type of intense degradation likely to occur in dry climate zones. This work aimed to survey the current state of the art on this environmental issue, highlighting how it has been processed especially in the Caatinga biome, based on the dynamic relationships between vegetation, soils and the way these resources are used by the population. The methodology was based on the analysis of several scientific works, considered the most relevant by the author of the research. The results identified that desertification is the result, in part, of the lack of knowledge of sustainable ways of using natural resources, going through issues related to national and global demands for certain commodities, as well as to various problems of historical social and economic structures. still persistent today among the inhabitants of the Caatinga, aggravated by government interventions that, in general, have intensified many negative environmental effects, with the possibility of worsening this situation, due to predicted climate changes. As a solution, it is recommended to increase investment in Science to improve the understanding of the functioning of this biome, subsidizing the forms of intervention in these lands, and a broad national political debate between managers and organized civil society, capable of bringing positive results. and sustainable use of natural resources for that part of the country.

Keywords: Dry zones; Vegetation; Soils; Intense Degradation; Caatinga.

RESUMEN

La desertificación es un tipo de degradación intensa que probablemente ocurra en zonas de clima seco. Este trabajo tuvo como objetivo relevar el estado actual del arte sobre este tema ambiental, destacando cómo ha sido procesado

 Bartolomeu Israel Souza ^a

^a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, Paraíba, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2023.65896

Correspondência: rrubialza@gmail.com

Recebido em: 11 mar. 2022

Revisado em: 26 dez. 2022

Aceito em: 06 jun. 2023



especialmente en el bioma Caatinga, a partir de las relaciones dinámicas entre la vegetación, los suelos y la forma en que estos recursos son utilizados por la población. La metodología se basó en el análisis de varios trabajos científicos, considerados los más relevantes por el autor de la investigación. Los resultados identificaron que la desertificación es el resultado, en parte, de la falta de conocimiento de formas sostenibles de uso de los recursos naturales, pasando por cuestiones relacionadas con las demandas nacionales y mundiales de algunas commodities, así como a diversos problemas de las estructuras sociales y económicas históricas persistente aún hoy entre los habitantes de la Caatinga, agravada por las intervenciones gubernamentales que, en general, han intensificado muchos efectos ambientales negativos, con la posibilidad de empeorar esta situación, debido a los cambios climáticos previstos. Como solución, se recomienda incrementar la inversión en Ciencia para mejorar la comprensión del funcionamiento de este bioma, subsidiando las formas de intervención en estas tierras, y un amplio debate político nacional entre gestores y sociedad civil organizada, capaz de traer resultados positivos y uso sostenible de los recursos naturales para esa parte del país.

Palabras-clave: Zonas secas; Vegetación; Suelos; Degradación intensa; Caatinga.



INTRODUÇÃO

A existência da desertificação não é algo novo, existindo vários registros sobre esse problema ambiental, ainda que não se utilizassem diretamente dessa expressão para designar esse tipo de degradação até o início do século XX quando, nos anos 1940 André Aubréville criou o termo, com base em suas observações no continente africano (TASSIN, 2014). Dessa forma, as descrições encontradas em diversos trabalhos sobre o que vinha acontecendo em várias partes do mundo, nos encaminham diretamente ao que passou a ser conhecido por esse nome (LOPEZ-BERMUDEZ, 1988; BLOCH, 1999), conferindo a ele, portanto, uma importância espacial e temporal de longa data, sendo passível de ocorrer, conforme aceito até o momento, nas zonas que apresentam climas secos.

De acordo com dados do Secretariado-Geral da Convenção de Combate à Desertificação, as terras secas abrangem 45% da superfície do planeta, onde até o início do século XXI viviam cerca de dois bilhões de habitantes, com a degradação em questão afetando 20% desse montante, o que representa cerca de 250 milhões de pessoas (LEAN, 2008).

Do ponto de vista físico, a escassez e distribuição da água é um elemento chave para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas dessas áreas, sendo estes especialmente propensos a mudanças de estado (REYNOLDS et al., 2007), o que significa que algumas modificações induzidas pelas atividades humanas nessas terras podem acarretar fortes distúrbios ambientais que não ocorreriam nas zonas úmidas ou nestas encontrariam maior resiliência. Nesse contexto, destacamos que a cobertura vegetal exerce papel fundamental.

Experimentos com modelos matemáticos demonstram que a dinâmica da desertificação apresenta dois estados: um com e outro sem vegetação permanente. Ao sofrer algum tipo de perturbação, quer seja natural ou antrópica, o ciclo das chuvas pode recuperar o sistema, mas isso só ocorre até determinado limite (MEDEIROS et al., 2017), o qual está ligado particularmente ao quanto e com que intensidade a cobertura vegetal original foi alterada durante a perturbação e as ligações desta com outros elementos do sistema, por exemplo, os solos e os recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, além de questões relacionadas a biodiversidade das espécies.

Esse trabalho tem o objetivo de fazer uma análise da desertificação a partir do papel que a cobertura vegetal exerce nas zonas de clima seco e como a sua alteração pode desencadear esse tipo de degradação. Trata-se de um levantamento do estado da arte do que tem sido produzido sobre esse tema, dentro do que julgamos mais importante, com foco especialmente voltado para o Brasil, em sua porção dominada pelo bioma Caatinga.

Terras secas, áreas degradadas e desertificação: conceitos e relações com a cobertura vegetal

A existência das terras de clima seco está diretamente relacionada ao conceito de aridez, o qual reflete, em princípio, a deficiência de chuvas por meses ou até anos, sendo estas superiores a precipitação média, mas também está ligada a outras questões climáticas específicas: insolação e temperatura elevadas, evapotranspiração avançada e fraca umidade do ar.

Os ecossistemas localizados nessas áreas são predominantemente mas irregularmente afetados por essa carência hídrica, sendo a seca classificada em: meteorológica, quando as precipitações são inferiores à média durante um ano ou vários destes sucessivos; hidrológica, quando temos diminuição do estoque dos recursos hídricos superficiais e uma queda natural nos níveis de cargas subterrâneas; edáfica, quando ocorre a diminuição da infiltração da água nos solos; agrícola, quando os recursos em água necessários às espécies de plantas cultivadas na agricultura não são suficientes ao seu desenvolvimento (MAINGUET, 1995).

Sobre o conceito de degradação, embora o termo seja muito abrangente, é predominantemente aceito que se refira a uma redução na produtividade da terra ou do solo devido às atividades humanas (HOLM; CRIDLAND; RODERICK, 2003; FAO, 2008; BINDRABAN et al., 2012), sendo essa uma definição também adotada para a desertificação (UNCCD, 1994), ainda que possamos acrescentar que, para essa última, se trata do resultado de determinadas intervenções antrópicas de ocorrência específica nas zonas de clima seco. Nos dois casos a vegetação exerce papel chave, quer seja negativo, quando ausente ou rara, ou positivo, quando presente e em boas condições de preservação, em quantidade e diversidade.

Do ponto de vista espacial, dificuldades relacionadas a percepção e análise de temas como estes, fazem com que não exista consenso quanto a extensão das áreas degradadas e tampouco das desertificadas, nem em nível global nem dentro de um país em particular. Além disso, existe uma carência elevada de dados capazes de proporcionar uma avaliação rotineira de degradação em quase todos os países, acompanhando condições ambientais pré-existentes ou em mudança (BRUINSMA, 2003), portanto, em geral, ainda não seria possível afirmar com poucas dúvidas se o que está sendo examinado faz parte de um estado momentâneo ou contínuo dos sistemas analisados.

Enquanto recurso técnico, o uso de dados de sensoriamento remoto é fundamental na análise temporal para identificação da evolução das terras degradadas e desertificadas. Entretanto, ratificando o que já comentamos, um grande desafio é separar áreas de produtividade naturalmente baixa e de vegetação esparsa daquelas que sofreram impacto humano nas análises de imagens de satélite. Além disso, os dados de satélite só estão disponíveis a partir da década de 1980, o que constitui um tempo curto para observar determinadas



mudanças na superfície terrestre (GIBBS; SALMON, 2015) e principalmente identificar se tais transformações negativas são temporárias ou permanentes.

Acrescentamos ainda que, nessa cartografia em nível mundial, não é incomum que alguns dos ecossistemas existentes nas zonas de clima seco, como Savanas e Florestas Secas, sejam classificados como uma única categoria, o que nos daria resultados que não condizem necessariamente com a realidade quanto ao que teríamos de cobertura vegetal e também da degradação nesses espaços (GRIFFITH, 2017).

Considerando que a desertificação é um processo de degradação do meio, tornando-o inapto ao crescimento da vegetação mesófila, as interações entre as ações humanas, pluviosidade e os solos ocorrem de forma complexa. Nesse último caso, para além das chuvas, a capacidade de retenção de água no sistema é fundamental. Trata-se de um processo de múltiplas relações de interdependência, não estando unicamente ligado a uma diminuição do regime pluviométrico, mas também pela degradação progressiva da cobertura vegetal e sobretudo de algumas propriedades dos solos (VERHEYE, 1990), os quais respondem diretamente pela forma como a água será ou não absorvida pelo sistema.

A desertificação também pode ser entendida como um tipo de retrogressão dos ecossistemas de zonas secas, onde temos uma redução intensa na produtividade e na biomassa permanente, com declínios na disponibilidade de nutrientes, acima e abaixo do solo, passando a dominar espécies vegetais tolerantes a esse stress e com crescimento lento, envolvendo escalas de tempo muito longas (GRIME, 2001; WARDLE, 2002; PETLTZER et al., 2010).

Cabe destacar que ainda hoje o termo desertificação é confundido com a formação de desertos, o que acaba gerando uma grande confusão em nível mundial, inclusive no meio científico, sendo este um fator que aumenta as dificuldades para implementação de políticas públicas de combate a ocorrência desse tipo de degradação.

Pelo exposto até o momento, a desertificação é explicada pela combinação de fatores sociais e biofísicos múltiplos e combinados, sendo necessária uma compreensão detalhada do conjunto complexo de causas imediatas e forças motrizes que afetam a mudança da cobertura vegetal nas terras de clima seco (GEIST; LAMBIN, 2004), o que se constitui, para além de um desafio técnico, uma superação de questões teóricas. Nesse contexto, em se tratando do Brasil, a análise de trabalhos como os de Ab'Sáber (1977) e Monteiro (1988) são fundamentais para o entendimento desse processo na Caatinga.

Ratificando parte das questões levantadas, quando a cobertura vegetal é alterada negativamente, a diminuição da interceptação combinada com a queda de matéria orgânica conduz a uma redução da estabilidade dos agregados do solo, resultando na formação de crostas superficiais e na diminuição das taxas



de infiltração (THUROW, 2000; MILLS; FEY, 2004). Aplicando essas colocações aos ambientes de clima seco, a redução da estrutura e função da vegetação nessas áreas diminui a umidade dos solos e aumenta a perda de nutrientes, levando a um estado disfuncional do sistema e criando a desertificação, incapaz de ser reparada a curto e médio prazo sem alguma intervenção humana.

Do ponto de vista microclimático, a degradação da vegetação, ao diminuir as taxas de entrada e armazenamento de água no solo, provoca a elevação do albedo e, portanto, acaba alterando todo o balanço de energia e água da área desmatada (HARE et al., 1992), o que repercute negativamente no que diz respeito a possibilidade do retorno a uma condição de estabilidade positiva do sistema, particularmente nas zonas de clima seco, onde a escassez de água é uma característica inerente, passando a dominar uma intensificação dessa carência.

Nessa discussão, a integração de espaços periféricos a uma produção de larga escala voltada para o mercado, por sua vez, também deve ser analisada. Em muitos casos, essa inserção trouxe mais problemas que benefícios às regiões e países susceptíveis à desertificação. Isto porque, as modificações introduzidas nos sistemas tradicionais de convivência com a seca, pressionam estes a um limite muitas vezes superior ao que os ambientes locais são capazes de suportar, costumando entrar num processo de desintegração, cujos recursos externos não chegam com a mesma agilidade que o capital produtivo para recuperar essas áreas (KATES; JOHNSON; HARING, 1992).

Burrell; Evans; Kauwe (2020), ao analisarem conjuntamente a variabilidade climática, níveis de CO² e as mudanças graduais e rápidas do ecossistema causadas pelo uso da terra entre 1982 a 2015 através de técnicas de Sensoriamento Remoto descobriram que, apesar do crescimento médio das áreas com cobertura vegetal em todo o mundo, nesse período, 6% das terras áridas haviam sofrido desertificação gerada por práticas insustentáveis de uso do solo intensificadas por mudanças climáticas de origem antropogênica, particularmente no oeste dos EUA, parte do continente asiático e Brasil.

No caso do Brasil, o trabalho em destaque identificou que o bioma Caatinga, além de ter sido afetado diretamente pela diminuição das chuvas nesse período, apresentou ampliação do desmatamento e intensificação do pastoreio.

As questões destacadas anteriormente mostram como o equilíbrio ambiental nas zonas secas está sujeito a mudanças de ordem natural, agravadas por questões ligadas a como se dá e com qual intensidade ocorre o uso dos recursos naturais nessas regiões, desafio inerente não apenas ao tempo presente, mas observado em diversos períodos passados da história dessas terras.



Nesse contexto, em algum momento e por razões específicas ainda não completamente decifradas, muitos povos que aparentemente haviam conseguido alcançar o que poderia se chamar de equilíbrio sustentável do uso dos recursos naturais em algumas regiões de clima seco, como observado em diversos povos pré-colombianos (VATTUONE et al., 2008; SANDOR; HOMBURG, 2017), se depararam com um estado de degradação nas terras ocupadas, devido a falta de manejo, má gestão dos recursos naturais ou mesmo capacidade limitada de conviver com novas dinâmicas climáticas (SANDOR; HOMBURG, 2017), o qual antecedeu o domínio do comércio globalizado, mostrando como é tênue o equilíbrio nesses ambientes.

Caatinga: Características naturais

A Caatinga é um bioma onde existe uma diversidade de fisionomias vegetais, sendo considerada, em nível internacional, como parte das florestas tropicais sazonalmente secas, estando presente em grande parte da Região Nordeste, estendendo-se ainda a um pequeno trecho da Região Sudeste do Brasil (norte de Minas Gerais). Na América Latina, a Caatinga é a mais isolada dessas formações (PRADO, 2005; DRYFLOR, 2016; MORO et al., 2016a).

Do ponto de vista espacial, a Caatinga ocupa cerca de 845.000km² do Brasil (IBGE, 2004), o que equivale a 10% do país. Sua diversidade vegetal é igualmente grande, sendo reconhecidas até o momento 3347 espécies vegetais, 962 gêneros e 153 famílias, das quais 526 espécies e 29 gêneros são consideradas endêmicas (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020). Esses números fazem com que a Caatinga seja classificada como a floresta tropical sazonalmente seca mais extensa e ecologicamente mais diversa do mundo (LESSA et al., 2019), estando dividida em 8 ecorregiões, com base no quadro vegetal e geológico até o momento conhecidos.

Apesar desses dados gerais, a Caatinga é considerada um dos biomas de onde se tem menos informações científicas em todo o mundo (QUEIROZ; RAPINI; GIULIETTI, 2006; SANTOS et al.; 2011; NASCIMENTO, 2013; SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017), podendo se dizer que temos uma espécie de corrida em que a velocidade com que são feitas novas descobertas sobre essa parte do país, é sempre superada pelo que tem sido e continua se perdendo em sua biodiversidade.

A flora da Caatinga apresenta biodiversidade distinta entre terrenos cristalinos, sedimentares e inselbergs, criando padrões de diversidade de espécies e paisagens heterogêneas, o que reforça a necessidade de se proteger esse bioma levando em consideração os diferentes tipos de ambientes existentes (APGAUA et al., 2014; MORO et al., 2016b).

De forma geral, solos derivados de rochas cristalinas são mais ricos em nutrientes, mas também são rasos e pedregosos, o que limita a retenção de água, enquanto solos derivados de rochas sedimentares são

pobres em nutrientes, apresentam maior profundidade e retêm mais água que os primeiros. Nos inselbergs, como regra, ocorrem solos pouco profundos ou mesmo ausência destes (MORO et al., 2014; MORO et al., 2016b), embora haja uma diversidade de microhabitats onde, em alguns deles, ocorre maior concentração de sedimentos e água em quantidade suficiente para se estabelecer uma vegetação do tipo arbustivo-arbórea (OLIVEIRA; GODOY, 2007; POREMBSKI, 2007; CORDEIRO; SOUZA; FELIX, 2018; QUEIROZ et al., 2020; QUEIROZ et al., 2021; SOUZA et al., 2022).

Fazendo parte dessa heterogeneidade, considerando todo o bioma, também encontramos diversos encaves com tipos de vegetação dominantes em outras partes do país, estabelecidos em microclimas subúmidos à úmidos, a exemplo da Mata Atlântica (denominada regionalmente de Brejo de Altitude), Cerrado e Campo Rupestre (GIULLIETI; CONCEIÇÃO; QUEIROZ, 2006; QUEIROZ et al., 2021; RAMOS; SOUZA; LUCENA, 2021).

Mesmo com essa diversidade de ambientes, de forma geral, esse bioma está inserido em clima semiárido (300 – 900 mm/ano), com elevada evapotranspiração (1.500 – 2.000mm/ano) e estação seca de 6 a 11 meses (MORO et al., 2016a). Em comparação a outras zonas secas do mundo, a exemplo do Sahel, da África do Norte ou parte dos EUA, o semiárido brasileiro apresenta uma maior variabilidade anual de chuvas, do ponto de vista temporal e espacial (LE HOUEROU, 1989).

É necessário destacar que na porção semiárida do Brasil, trabalhos relacionados à ocorrência de chuvas, mesmo analisando séries históricas do início do século XX aos dias atuais, não identificaram tendências significativas quanto a possíveis modificações regionais em seu total geral ou mesmo em sua distribuição, ainda que projeções para o futuro indiquem a diminuição da pluviosidade nessa parte do país (MILLY; DUNNE; VECCHIA, 2005; TEBALDI et al. 2006; CHRISTENSEN et al., 2007; MARENGO et al., 2009; MARENGO et al., 2011).

Com base no exposto anterior, os estudos sobre desertificação no território brasileiro não encontrariam apoio em uma tendência linear de alteração negativa das chuvas, como desencadeadora desse tipo de degradação, dada a série histórica ainda pequena para esse tipo de análise, o que reforça a necessidade de análise de outras questões causadoras, inclusive em escalas mais detalhadas.

Regiões semiáridas como a Caatinga apresentam balanço hídrico com elevado déficit (precipitação média abaixo de 900mm/ano e evapotranspiração potencial acima de 2.200mm/ano), estabelecendo um ambiente em que os teores de água do solo apresentam um impacto substancial sobre a temperatura do ar, nas áreas próximas à superfície, fazendo com que sejam formadas ondas de calor muito elevadas (GUO et al., 2006; SENEVIRATNE et al., 2006; FISHER et al., 2007; PINHEIRO et al., 2016).



As ondas de calor superficial, por sua vez, acabam sendo acentuadas nas áreas que sofreram desmatamento contínuo e acelerado, como é esperado para as localidades que sofreram distúrbios antropogênicos crônicos (ENDRESS; GORCHOV; NOBLE, 2004), criando um microclima que estabelece, entre outras consequências, forte limitação para a germinação de muitas sementes de espécies nativas, uma vez que essa elevação das temperaturas também atinge as camadas mais superficiais do solo (0 a 5cm), onde os efeitos das sazonalidades climáticas são mais intensos e ocorre concentração de grande parte do banco de sementes da Caatinga (COSTA; ARAÚJO, 2003; MAMEDE; ARAÚJO, 2008; SANTOS et al., 2010).

Nesse caso, as temperaturas ideais do solo para germinação das sementes de muitas espécies vegetais são comumente ultrapassadas (limite de 30°C, no caso desse bioma), o que compromete seriamente a possibilidade de recomposição espontânea dessas áreas, ainda que o banco de sementes não tenha sido severamente atingido pelas ações humanas (KOHNE, 1968; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; SOUZA; MACÊDO; SILVA, 2015).

Apesar dessas descobertas, de forma geral, saber como as características das plantas variam entre distintas espécies e como estas respondem às condições ambientais continua a ser um dos grandes desafios ecológicos. No caso da Caatinga, predomina um relativo consenso de que a abundância das espécies está ligada à precipitação e a fertilidade do solo (PINHO et al., 2019), embora existam outras questões que começam a ganhar espaço, como veremos adiante.

Já foi comentado que a disponibilidade hídrica é um forte filtro ambiental nas zonas de clima seco, limitando a ocorrência das espécies mais exigentes em água a determinados ambientes que sejam favoráveis a esse processo (SEILER et al., 2015), o que também é dominante na Caatinga (SAMPAIO, 1995; ARAÚJO, 2005). Nesse bioma, obedecendo a essa regra, locais mais secos apresentam naturalmente assembleias empobrecidas de plantas, estabelecendo-se ambientes com maior sensibilidade às perturbações crônicas efetuadas pelas atividades humanas, diminuindo a diversidade e a estrutura das espécies (RIBEIRO et al., 2015 e 2016).

Além do exposto anteriormente, como no semiárido brasileiro é comum ocorrerem atrasos ou antecipações nas estações seca e úmida, essa dinâmica sazonal acaba por modificar características demográficas das populações de diversas espécies (ARAÚJO, 2005), deixando esses ambientes pobres em água ainda mais vulneráveis a essas oscilações.

Nesse caso, se do ponto de vista macro a pluviosidade é o fator determinante na distribuição e diversidade das plantas, alguns outros são iguais ou mais importantes quando nos referimos a presença/ausência de água e sua relação com as espécies vegetais. Dessa forma, do ponto de vista dos



microhabitats, a capacidade de reter mais ou menos água é também um fator fundamental que influencia diretamente as taxas de natalidade, mortalidade e sobrevivência de diversas espécies (LIMA, 2007; PESSOA, 2007), o que nos leva diretamente a importância dos solos nesse processo.

Para Moro et al. (2016b) e Oliveira et al. (2019), diferente da idéia geralmente dominante de que o clima é o principal definidor natural das classes de vegetação no semiárido brasileiro, a contribuição do solo e dos seus atributos físicos, químicos e principalmente a capacidade de armazenamento de água deve ser vista como igual ou mais importante, não devendo essa interação ser negligenciada.

Analisada de forma geral, é sabido que grande parte da Caatinga está localizada em áreas cristalinas (cerca de 70%), seguida de longe pelas áreas sedimentares (cerca de 20%), aparecendo também, dispersos entre essas estruturas, muitos inselbergues (cerca de 10%). Em todas essas áreas, para além dos ecossistemas estabelecidos originalmente, derivados localmente dos tipos de cobertura vegetal como uma função direta da relação de causa e efeito com os solos existentes, sua capacidade de retenção de água e nível de fertilidade, a forma e a intensidade com que os diversos ambientes são manejados pela população é determinante na presença ou não de processos de degradação e de desertificação.

Uso dos solos e dos recursos naturais e suas influências na dispersão de plantas

Em 1818, ao atravessar parte do sertão da Bahia, Martius comentou que a Caatinga, denominada por ele de Hamadryades e de silva aestu aphylla, em função da aparência de morte da maioria das espécies vegetais, devido a ausência de folhas na estação seca, estava contida em uma região pobre de água e com florestas ralas, descrevendo uma natureza de grande hostilidade, a ponto de também denominá-la de silva horrida (LAHMEYER, 2017). Esta foi a primeira descrição científica efetuada por pesquisadores de renome internacional que levou mundo afora a imagem desse bioma exclusivamente brasileiro, tendo, portanto, causado não só curiosidade, mas também grande impacto nos meios acadêmicos e populares, ficando uma idéia dominante de pobreza vegetal.

Entretanto, para além desse olhar parcialmente superficial do famoso botânico europeu, é provável que as paisagens observadas por ele e do seu parceiro de viagem Spix, tivessem sido submetidas anos antes à chegada deles nessa parte do sertão nordestino a elevadas taxas de desmatamento utilizando o machado e o fogo, particularmente para expandir as lavouras de algodão, do qual essa parte do Brasil foi a maior produtora entre os séculos XVIII à parte do XX. Logo, muito do que foi observado na Bahia pode ser de uma paisagem, senão desertificada, com elevado grau de antropização devido a esse tipo de cultivo, como foi descrito entre o final do século XIX e início do XX por autores como Joffily (1892; 1910) e Luetzelburg (1922), em diversas outras regiões do semiárido brasileiro.



Destacamos que a ocorrência do fogo é comum em vários dos ecossistemas sazonalmente secos, particularmente na África e Austrália, sendo considerado um evento natural, embora no caso da América do Sul esteja relacionado à atuação humana, o que faz com que aí existam menos espécies adaptadas a esse distúrbio (BOWMAN; PRIOR, 2005; LOCK, 2006). Logo, a prática desenfreada desse tipo de manejo agropecuário acarreta importantes alterações na composição e estrutura dos ambientes (VICO et al., 2014), estabelecendo situações de degradação.

As queimadas são uma prática tradicional no manejo do solo em diversas regiões do mundo, a exemplo da Caatinga, como parte das atividades agropecuárias, para o aproveitamento da lenha e produção de carvão para fins energéticos. Nessa parte do Brasil, apresentou seu auge relacionado diretamente relacionado a produção de algodão, ocorrida entre o final do século XIX e a década de 1950, motivada pela expansão da cotonicultura em nível mundial. Nesse período, esse cultivo ocupou tanto solos menos frágeis a essa prática como outros não favoráveis naturalmente ao uso mais intenso, resultando em áreas que até hoje tem dificuldade em se recuperar do impacto sofrido (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2010).

Destacando-se inicialmente no estado do Maranhão (GUIMARÃES NETO, 1989), a produção logo se expandiu para quase todos os estados da região Nordeste, principalmente em suas porções de clima semiárido e subúmido seco (PRADO JÚNIOR, 1987), o que comprometeu diversas áreas em sua cobertura vegetal original e no estabelecimento de novas dinâmicas nos ecossistemas atingidos. Apesar da queda da produção, o passivo ambiental deixado por essa atividade no bioma Caatinga é facilmente perceptível em suas paisagens atuais.

Em paralelo a cotonicultura, também tradicional no semiárido é a pecuária de corte, geralmente de modo extensivo, a qual exerce importante fator de seleção natural. A ampliação recente dessa atividade devido a incentivos governamentais, notadamente do rebanho caprino (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015) tem afetado principalmente arbustos e árvores perenifólias como *Ziziphus joazeiro* e *Spondias tuberosa*, ou espécies decíduas como *Myracrodruon urundeuva* e *Commiphora leptophoeos*, todas elas clímax na Caatinga (LEAL; VICENTE; TABARELLI, 2005), dos quais se alimentam das folhas, brotos jovens e também das sementes (muitas vezes trituradas), afetando suas taxas de sobrevivência e reprodução, especialmente durante as longas estiagens (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015).

Além disso, muito da cobertura vegetal sobrevivente pode estar comprometida com a presença ou mesmo domínio de espécies exóticas. Na Caatinga, *Prosopis juliflora* e *Prosopis pallida* são as espécies invasoras de maior presença (ZENNI; ZILLER, 2011), introduzidas desde a década de 1940, a partir de matrizes vindas do Peru, para suprir de forragem o gado na estação seca (AZEVEDO, 1955), sendo registrados diversos impactos na estrutura das comunidades, hidrologia e propriedades dos solos (OLIVEIRA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2014; OLIVEIRA; FONSECA; COSTA, 2018).



Analisada de forma mais abrangente, a chegada de espécies exóticas na Caatinga resulta de intervenções que são iniciadas a partir do séc. XVII, acompanhada da retirada gradativa da cobertura vegetal nativa para, em princípio, ceder espaço ao gado e a agricultura, usar a madeira para produção de lenha, carvão, cercas e construção civil, atividades ainda hoje existentes, com a particularidade do uso da lenha ter sido ampliado principalmente a partir do séc. XX como fonte energética para abastecer parte da produção industrial de toda a Região Nordeste do Brasil (SOUZA; SUERTEGARAY; LIMA, 2010; SILVA; BARBOSA, 2017), estabelecendo-se assim o domínio de paisagens antropizadas como vemos atualmente.

Na Caatinga, a densidade do gado e o uso da madeira para produção de energia (25% da demanda total está baseada nessa fonte) são os principais responsáveis pelo empobrecimento biológico da vegetação nativa (RIBEIRO et al., 2015). No caso da pecuária, o acesso controlado do gado em áreas degradadas permitiria o aumento da cobertura do solo e da diversidade de plantas, após a reintrodução de algumas espécies arbóreas (FIGUEIREDO et al., 2017).

Do ponto de vista ecológico, é sabido que plantas da Caatinga, como *Poincianella. pyramidalis*, *Aspidosperma. pyrifolium*, *Croton echiioides* e *Tacinga palmadora* reduzem a severidade ambiental em ambientes degradados, através da acumulação de nutrientes, sombreamento, redução da evapotranspiração e alteração das temperaturas do solo e do ar no seu entorno, facilitando a presença de outras espécies, como por exemplo, das herbáceas, nos estágios iniciais de sucessão ecológica (CARRIÓN, et al., 2017). Tal informação é muito importante em função do pouco conhecimento sobre processos de restauração natural da Caatinga, em comparação a outros ecossistemas de climas secos (MATESANZ; VALLADARES, 2007).

A introdução maciça das espécies citadas poderia ser uma alternativa para dar início a um processo de recuperação dessas áreas degradadas, embora as dificuldades econômicas possam tornar tal ação parcialmente impraticável, pelo menos em grandes áreas, dado o volume de capital necessário para esse empreendimento. Sem contar que, raramente isso ocorre, uma vez que o acesso ao conhecimento necessário, ao capital e às tecnologias disponíveis que possam favorecer o uso sustentável da terra ainda é restrito, por dominar uma população de baixo poder aquisitivo, em muito ainda dependente da transferência de renda direta do Governo Federal (ARAÚJO; LIMA, 2009).

Essas mesmas carências tem os seus efeitos acentuados ainda mais diante da estrutura fundiária dominante. De um passado onde dominavam grandes latifúndios, o semiárido brasileiro vem se apresentando cada vez mais como um espaço das pequenas propriedades, onde temos a presença maciça de minifúndios. Dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2017), identificaram 1.835.535 estabelecimentos rurais nessa parte do país, dos quais, 1.378.616 propriedades (75,1% do geral), tinham áreas inferiores a 20 hectares.



Nesse contexto, o pequeno tamanho das propriedades, associado às condições socioeconômicas dominantes e a carência natural de recursos hídricos, tornam a prática de atividades agropecuárias sustentáveis quase uma impossibilidade permanente (BUAINAIN; GARCIA, 2013). Sendo assim, esse conjunto de fatores contribui de forma decisiva para que o disciplinamento do uso dos recursos naturais (preservação da mata ciliar, não utilização da Reserva Legal, etc.) seja pouco efetivo (PEREIRA, 2006). Adicionamos ainda a essas dificuldades, as tentativas de recuperação ambiental, uma vez que estas pressupõem, como regra, a não utilização da terra pela agropecuária por diversos anos, o que é impensável para a maioria dos proprietários, dada a situação social existente.

Antongiovanni; Venticinque; Fonseca (2018) identificaram recentemente que 90% dos maiores remanescentes vegetais da Caatinga apresentam tamanho inferior a 500 ha., submetidos a elevada pressão antrópica, onde se destacam o extrativismo vegetal e a expansão da agropecuária. Como mais de 50% da Caatinga apresenta distúrbios crônicos de origem antrópica (ANTONGIOVANNI et al., 2020), a pequena quantidade de áreas com cobertura vegetal melhor preservada, associada a grande distância entre esses remanescentes comprometem decisivamente, entre outros, os sistemas naturais de dispersão das plantas nesse bioma e, conseqüentemente, a capacidade destas repovoarem os ambientes de entorno, onde os efeitos da degradação estejam mais presentes.

Na Caatinga, a polinização por animais (zoocoria) ocorre em cerca de 98% das espécies vegetais, tendo abelhas e outros insetos como formigas, papel de destaque, sendo responsáveis pela dispersão de um quarto da flora lenhosa local (LEAL; WIRTH; TABARELLI, 2007). Beija-flores e morcegos também cumprem papel relevante, sendo suas ações documentadas, respectivamente, em 15% e 13% da flora (MACHADO; LOPES, 2004; TABARELLI; PERES; MELO, 2012). Esse é um percentual geral maior do que ocorre em média em nível mundial, onde a zoocoria participa com 87%, sendo sua atuação altamente comprometida nos ambientes que sofreram mudanças elevadas no uso da terra (WINFREE; BARTOMEUS; CARIVEAU, 2011).

Para além dos animais de porte menor, como insetos, em muitos lugares na Caatinga, assim como em outras zonas de clima seco em todo o mundo, a permanência de árvores não coincide, necessariamente, com a presença da maioria dos animais, em particular os de maior porte, devido a caça, ao extrativismo seletivo de árvores frutíferas que lhes serviam de alimento ou destruição de locais de nidificação, estabelecendo o que Redford (1992) denominou de “floresta vazia”, o que compromete ainda mais a dispersão das plantas pela fauna, estabelecendo-se uma espécie de degradação não visível a um olhar menos atento.

Do ponto de vista das espécies vegetais dominantes em grande parte da Caatinga, o resultado desse conjunto de intervenções humanas ao longo do tempo é a homogenização taxonômica, como destaca Morante – Filho et al. (2017), facilmente percebida em áreas degradadas ou desertificadas, onde é marcante



a presença de poucas espécies pioneiras (*Croton sonderianus*, *Croton echinoides*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Poecyanella pyramidalis* e *Jatropha*. Molíssima, principalmente, cf. SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015), das quais, inclusive, *Croton sonderianus*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Poecyanella pyramidalis* prevalecem em grande parte dos levantamentos fitossociológicos realizados em todo esse bioma (SAMPAIO, 1996; AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005; SOUZA; MENEZES; ARTIGAS, 2015; SILVA; LEAL; TABARELLI, 2017), o que indica o alto grau de antropização existente nessas terras.

Se essas constatações por si só já são muito graves, piorando ainda mais o quadro, diversos trabalhos utilizando modelagem ambiental (OYAMA, 2002; OYAMA; NOBRE, 2004; CUNHA; ALVALÁ; OLIVEIRA, 2013) identificaram que, na Caatinga, a substituição da vegetação natural por agropecuária ou por áreas degradadas causa modificações nos processos de superfície, induzindo mudanças microclimáticas relacionadas ao balanço de água, de energia e carbono que, a depender do tamanho da área atingida, podem induzir a mudanças climáticas regionais, o que irá afetar ou já está afetando direta e indiretamente milhões de pessoas.

No caso da criação oficial de áreas protegidas para diminuir os impactos das ações humanas na Caatinga, essa também é uma ação de resultados positivos limitados, pelo menos com efeitos de larga abrangência, uma vez que somente isso não tem a capacidade de garantir o sucesso de conservação de muitas espécies, mudanças indesejáveis ou mesmo a perda de diversos ecossistemas, devendo haver, em paralelo a essa intervenção, a conservação das terras utilizadas na agropecuária para amenizar e reduzir as ameaças que se expandem para além das áreas protegidas pelo Estado, como a perda de biodiversidade, mudança climática e uso insustentável dos solos (KREMEN; MERENLENDER, 2018).

Mapeamento da desertificação

O trabalho mais recente efetuado para identificar áreas desertificadas na Caatinga foi efetuado por Tomasella et al. (2018), utilizando Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com resolução de 250 metros. Neste caso, os pesquisadores avaliaram que, entre os anos 2000 a 2016, houve um aumento da desertificação em todo o semiárido brasileiro, principalmente em zonas de pastagem e vegetação natural, a partir da análise da evolução de áreas com solo exposto, em sua persistência e frequência. Os autores identificaram que a forte seca que atingiu a região a partir de 2011, agravou a situação criada pelo desmatamento para produção de carvão e lenha, atingindo a um total de aproximadamente 70 mil km² de áreas desertificadas, o que corresponde a 4% de toda essa região comprometida por esse tipo de degradação.

Apesar do esforço empreendido pelos pesquisadores, é possível que os resultados encontrados no trabalho de Tomasella et al. (2018) estejam aquém da realidade para a Caatinga, sendo as áreas atingidas pela desertificação superiores aos números encontrados na referida pesquisa, como analisaremos a seguir.



Ao considerar como aspecto único para identificação e mapeamento da evolução das áreas desertificadas os solos expostos, não foi levado em consideração que nesse bioma existem algumas áreas onde a raridade ou mesmo ausência da vegetação é uma característica da sua natureza, como ocorre em setores onde temos afloramentos rochosos, ambientes comuns nessa parte do Brasil (MORO et al., 2015). Logo, parte desse mapeamento pode ter classificado como desertificadas o que na realidade são ecossistemas rupestres.

Embora dada a escala trabalhada possamos considerar que as colocações anteriores não tenham gerado uma grande falha nos resultados do trabalho em destaque, o mesmo não pode ser dito quanto a questões ligadas às características estruturais da Caatinga, particularmente vertical, e a diversidade da vegetação nesse bioma, informações que não tem como ser geradas quando utilizadas imagens de satélite de média e baixa resolução, como foi o caso do trabalho em destaque.

É necessário lembrar que, tal como já foi dito, a diversidade vegetal original da Caatinga é a mais elevada dentre as florestas secas do mundo (LESSA et al., 2019), tendo originalmente estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, geralmente de forma adensada. Além disso, as plantas fornecem muito da sua heterogeneidade através de formas diversas de crescimento (TEWS et al., 2004; RUTTEN et al., 2015). Portanto, o domínio de poucas espécies e estratos homogêneos nesse bioma devem ser considerados indicadores importantes de desertificação que não podem ser menosprezados.

Uma alternativa para esse problema observado no trabalho de Tomasella et al. (2018), seria a complementação de dados obtidos por imagens de satélite com levantamentos fitossociológicos em áreas degradadas e preservadas, obtendo padrões de biodiversidade e estrutura (vertical e horizontal) para melhor identificar tipologias de paisagens com e sem desertificação.

Parte da proposta anterior foi executada por Souza; Queiroz; Cardoso (2015), analisando imagens de satélite dos anos 1980 a 2013, para identificar a evolução temporal e espacial da cobertura vegetal, acompanhado de levantamentos fitossociológicos, para reconhecer padrões de áreas degradadas e preservadas, no Alto Curso do rio Paraíba/PB.

Os resultados indicaram que mais de 80% dessa região da Paraíba estaria submetida a algum risco de desertificação, sendo 35% desse total em risco muito grave devido a escassez de cobertura vegetal, com domínio de estrato arbustivo pouco adensado, ou mesmo ausência de cobertura vegetal, onde não é esboçada uma recuperação substancial da biomassa, mesmo em períodos de chuvas considerados excepcionais para a região.

Outra possibilidade é a utilização de imagens de satélite de alta resolução, para identificar padrões estruturais da vegetação como indicadores de biodiversidade. Entretanto, essa proposta apresenta limitação



relacionada a escala adotada, uma vez que os custos elevados desse tipo de material podem inviabilizar o seu uso em grandes proporções. Mesmo assim, pode ser utilizada como complementação ao uso de escalas de grande abrangência territorial, refinando e validando o mapeamento regional da desertificação através de constatações em campo, utilizando técnicas apropriadas para esse fim.

Tomasella et al. (2018) também destacam que houve forte influência da estiagem prolongada, iniciada em 2011 e se prolongando até 2016, último ano das análises. Nesse caso, muitas áreas que apareceram como solo exposto, podem não ter conseguido recuperar o estrato herbáceo e mesmo arbustivo em quantidade suficiente pela deficiência na dinâmica temporal e espacial das chuvas nesse período.

Entretanto, isso não significa necessariamente que se trate de uma situação permanente, característica basilar de uma área desertificada, mas sim um estado de temporalidade de baixo a médio prazo, capaz de ser superado, pelo menos parcialmente, em uma sequência de chuvas mais dentro da normalidade ou acima desta, como passou a ocorrer a partir do ano 2018 em todo o semiárido brasileiro, conforme mostram os dados pluviométricos de diversos órgãos públicos federais e estaduais dos estados da região Nordeste do Brasil, como o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCME e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA.

Ratificando ainda mais essa última observação, o período analisado foi relativamente curto (16 anos) para uma análise desse tipo em um bioma complexo como a Caatinga, sendo que destes, os últimos 6 anos foram caracterizados por uma forte estiagem, a qual se prolongou até o ano 2017. Nesse caso, o uso de uma série maior de imagens de satélite, associada a uma análise do comportamento dos períodos chuvoso e seco e da dinâmica do uso do solo, diminuiria os possíveis erros advindos dessa escolha temporal.

As colocações feitas anteriormente sobre o trabalho de Tomasella et al (2018) também encontram respaldo em outras pesquisas anteriormente realizadas, além de dados ainda mais recentes, onde, apesar de não mencionarem diretamente o termo desertificação para se reportarem ao quadro identificado, apresentam uma situação espacial analisada bem mais ampla de degradação.

No primeiro caso, combinando mapas produzidos pelo IBGE (2015), a partir de imagens do satélite MODIS, resolução de 250 metros, Silva; Barbosa (2017) identificaram para todo esse bioma que: dentre as áreas antropizadas até 2010, 139.522 km² (15,3% do total) foram transformados pelo fogo; 346.267 km² (37,9% do total) sofreram impacto em função da presença de estradas de rodagem; 311.225 km² (34,1% do total) foram desflorestados. Combinando esses impactos, os autores identificaram que 63,3% da Caatinga teria sido transformada em ecossistemas antropogênicos, logo, essa seria a regra dominante para esse bioma.



Ratificando o trabalho mencionado anteriormente, Antongiovanni et al. (2020), ao integrarem informações oficiais remotas extraídas do IBGE, criaram um índice de perturbação antropogênica para esse bioma, estimando que mais de 50% da Caatinga foi comprometida por degradação antropogênica crônica, destacando-se na origem desse processo a criação de pastagens, extração de madeira e as queimadas, as quais substituíram parcial ou completamente a cobertura vegetal nativa, estabelecendo paisagens onde dominam a falta de árvores de grande porte e fauna depauperada.

Considerações Finais

Alterações ambientais como as provocadas pelo processo de desertificação, onde temos modificações bióticas e abióticas simultâneas, estabelecendo taxas de mudanças complexas e aceleradas, reforçam a ideia de uma incidência crescente de novos ecossistemas sem análogo aos sistemas históricos, sendo até o momento desconhecida a extensão em que podemos gerenciar ou restaurar para um estado mais próximo do original essa nova realidade (HOBBS; HIGGS; HARRIS, 2009; TEIXEIRA; FERNANDES, 2020).

Tal discussão, embora cada vez mais presente no âmbito da Biologia e da Ecologia a partir dos anos 1960 (MILTON, 2003), já vinha ocorrendo desde o século XIX de forma pioneira dentro da Geografia, através dos trabalhos de Ratzel, para quem a espécie humana, mais que qualquer outro ser vivo, havia transformado a fisionomia da vida na Terra (CARVALHO, 1999), e também de Humboldt, para quem os efeitos das intervenções humanas no mundo já seriam incalculáveis e poderiam se tornar uma grande catástrofe (WULF, 2016). Independente dessas questões sobre qual área de conhecimento foi precursora nessa forma de pensar, é fundamental percebermos que “O momento é o de mundos que se entrecruzam e se sobrepõem...onde a Natureza é rara...” (VITTE, 2011).

Acreditamos que, para diminuir o problema da desertificação e evitar a sua expansão para terras ainda não atingidas, antes de mais nada é necessário compreender melhor o funcionamento dos sistemas nas zonas de clima seco. Como parte integrante disso, temos um desafio tão grande quanto, que é o entendimento da interligação dos processos, concebidos tradicionalmente como naturais ou sociais.

Por tudo o que foi exposto, reiterando essa necessidade da compreensão da interligação dos fatores para o entendimento da desertificação enquanto parte da crise ambiental mundial, como medida inicial para frear esse processo, defendemos que sua presença na Caatinga fica difícil de ser combatida caso não haja um alinhamento de ações ambientais, sociais e econômicas, permeadas, inevitavelmente, pela política. Além disso, em paralelo a essas ações, ainda temos muito o que investir em Ciência para ampliarmos os conhecimentos sobre essa problemática e o bioma onde ela ocorre no Brasil, o que julgamos também ser uma regra em grande parte dominante para o restante das áreas mundiais susceptíveis a essa questão ambiental.



Quanto ao que tem sido feito no Brasil para combater a desertificação, a despeito do que temos no Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN Brasil (BRASIL, 2004), a realidade encontrada no bioma Caatinga ainda se encontra muito distante do que está previsto neste documento quanto aos eixos temáticos norteadores de programas e ações articuladas, fundamentados na: redução da pobreza e da desigualdade; ampliação sustentável da capacidade produtiva; conservação, preservação e manejo sustentável dos recursos naturais; gestão democrática e fortalecimento institucional.

Dessa forma, esse tipo de degradação, apesar do sucesso local de algumas ações levadas à cabo por alguns governos na esfera federal, estadual e municipal, além da sociedade civil organizada, no geral, ademais de persistir, também tem se ampliado em diversas regiões da Caatinga, estabelecendo-se um quadro que torna as discussões sobre as possíveis consequências ambientais das mudanças climáticas a serem estabelecidas em um futuro aparentemente mais distante nesse bioma, em uma situação de longa data presente em diversos lugares. Logo, para além da Ciência, somente um amplo e urgente debate político, ainda que já atrasado, é capaz de efetivamente resolver minimamente essa problemática.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. São Paulo: USP/IGEUG, **Geomorfologia**, nº 53, 1977.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, 19(3), p. 615 – 623, 2005.
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 8, p. 1353 – 1367, 2018.
- ANTONGIOVANNI, M. et al. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments, **Journal of Applied Ecology**, 57:2064–2074, 2020.
- APGAUA, D. M. G. et al. Beta-diversity in seasonally dry tropical forests in the Caatinga Biogeographic Domain, Brazil, and its implications for conservation. **Biodivers. Conserv.**, 23, p. 217 – 232, 2014.
- ARAÚJO, E. L. Estresses abióticos e bióticos como forças modeladoras da dinâmica de populações vegetais da Caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: MXM Gráfica e Editora, 2005. 325p. p. 50 – 64.
- ARAÚJO, L. A.; LIMA, J. P. R. Transferências de renda e empregos públicos na economia sem produção do semiárido nordestino. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 33, p. 45 – 77, 2009.
- AZEVEDO, G. **Algaroba**. Natal: Ministério da Agricultura, 1955. 31p.
- BINDRABAN, P. S. et al. Assessing the impact of soil degradation on food production. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 4(5), p. 478 – 488, 2012.
- BLOCH, D. **Resumo e comentário das políticas nacionais e internacionais relativas ao tema desertificação**. Recife: AS-PTA, 1999. 32p.
- BOWMAN, D.; PRIOR, L. D. Why do evergreen tree dominate the Australian seasonal tropics? **Australian Journal of Botany**, 53: 379 – 399, 2005.



- BUAINAIN, A. M. & GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **Confins**, 19, 2013. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/8633>. Consulta em 26 de novembro de 2021.
- BRASIL. **Programa de Ação nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca** – PAN Brasil. Brasília: MMA, 2004. 215p.
- BRUINSMA, J. **World agriculture: towards 2015/20A30**. An FAO perspective. London: Earthscan, 2003. 160p.
- BURRELL, A. L.; EVANS, J. P.; DE KAUWE, M. G. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. **Nat Commun**, 11, 3853, 2020.
- CARRIÓN, J. F. et al. A. Facilitation as a driver of plant assemblages in Caatinga. **Journal of Arid Environments**, 142, p. 50 – 58, 2017.
- CARVALHO, M. B. Geografia e Complexidade. **Scripta Nova**, n. 34, 15 de febrero, 1999.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.
- CORDEIRO, J. M. P.; SOUZA, B. I.; FELIX, L. P. Levantamento florístico em afloramento rochoso no Piemonte da Borborema, Paraíba, Brasil. **Geosul**, v. 33, p. 214-228, 2018.
- COSTA, R. C.; ARAÚJO, F. S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes no solo, no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. **Acta Botânica Brasílica**, v. 17, p. 259-264, 2003.
- CHRISTENSEN, J. H. et al. Regional climate projections. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (ed.). **Climate change the physical Science basis**. Chapter 11: Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: United Kingdom and New York, 2007. 1007p. p. 858 – 926.
- CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 139 – 152, 2013.
- DRYFLOR et al. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, p. 1383 – 1387, 2016.
- ENDRESS, B. A.; GORCHOV, D. L.; NOBLE, R. B. Non-timber forest product extration: Effects of harvest and browsing on na understory palm. **Ecological Applications**, 14, p. 1139 – 1153, 2004.
- FAO. Food and Agriculture Organization. **The state of food and agriculture**. 2008, p. 1 – 138.
- FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 104079, 2020.
- FISCHER, E. M. et al. Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. **Journal of Climate**, 20, p. 5081 – 5099, 2007.
- FIGUEIREDO, J. M. et al. Herb recovery in degraded Caatinga sites enriched with native trees. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1143 – 1156, 2017.
- GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Dynamic causal patterns of desertification. **BioScience**, vol. 54, n. 9, p. 817 – 829, 2004.
- GIBBS, H. K.; SALMON, J. M. Mapping the world's degraded lands. **Applied Geography**, 57, p. 12 -21, 2015.
- GIULLIETI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488p.
- GRIFFITH, D. M. et al. Comment on “The extent of forest in dryland biomes”. **Science**, v. 358, 6365, 2017, eaao1309.
- GRIME, J. P. **Plant strategies, vegetation processesmand ecosystem processes**. Chichester (UK): Wiley, 2001. 464p.
- GUIMARÃES NETO, L. **Introdução à formação econômica do Nordeste**. Recife: FUNDAJ/Ed. Massangana, 1989. 295p.
- GUO, Z. et al. The Global Land–Atmosphere Coupling Experiment. Part II: Analysis. **American Meteorological Society**, p. 611 – 625, 2006.
- HARE, F. K. et al. **Desertificação: causas e consequências**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1992. 679p.



- HOBBS, R. J.; HIGGS, E.; HARRIS, J. A. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. **Trends in Ecology & Evolution**, 24(11): 599-605, 2009.
- HOLM, A.; CRIDLAND, S.; RODERICK, M. The use of time-integrated NOAA (NDVI) data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of western Australia. **Remote Sensing of Environment**, 85(2), p. 145 – 158, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas e de vegetação**. 2004. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/presidência/notícias/210522004biomahtml.shtm>>. Acesso em 15 dezembro 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mudanças na cobertura e uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em 22 de novembro de 2021.
- JOFFILY, I. **Notas sobre a Parahyba**. Rio de Janeiro: Typographia do Jornal do Commercio, 1892. 255p.
- JOFFILY, I. Notas de viagem da villa de São João do Cariri a do Monteiro. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico Parahybano**, ano II, vol. 2, 1910.
- KATES, R. W.; JOHNSON, D. L.; HARING, K. J. População, sociedade e desertificação. In: HARE, F. K.; WARREN, A.; MAIZELS, J. K.; KATTES, R. W.; JOHNSON, D. L.; HARING, K. J.; GARDUÑO, M. A. **Desertificação: causas e consequências**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1992. 679p. p. 409 – 500.
- KOHNKE, H. **Soil physics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968. 224p.
- KREMEN, C.; MERENLENDER, A. M. Landscapes that work for biodiversity and people. **Science**, 362 (6412), Oct. 2018.
- LAHMEYER, L. F. (trad.). **Spix; Martius**. Viagem pelo Brasil, 1817-1820. Brasília: Edições do Senado Federal, 2017. 1276p.
- LEAL, I. R.; VICENTE, A.; TABARELLI, M. Herbivoria por caprinos na caatinga da região de Xingó: uma análise preliminar. In: LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. (Edit.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife (PE): Ed. Universitária/UFPE, 2005. 822p. p. 695-715.
- LEAL, I. R.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Seed dispersal by ants in the semi-arid Caatinga of North-east Brazil. **Annals of Botany**, 99(5), p. 885 – 894, 2007.
- LEAN, G. **Down to Earth: A simplified guide to the Convention to Combat Desertification**. Why it is necessary and what is important and different about it. Bonn: Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2008. 37p.
- LE HOUEROU, H. N. La variabilité de la pluviosité annuelle dans quelques régions arides du monde: ses conséquences écologiques. In: BRET, B. (coord.). **Les hommes face aux sécheresses**. Nordeste brésilien, Sahel africain. Paris: ORSTOM, 1989. 422p. p. 127 – 138.
- LESSA, T. et al. Known unknowns: Filling the gaps in scientific knowledge production in the Caatinga. **Plos One**, 14(7): e0219359, 2019.
- LIMA, E. N. **Variações na dinâmica de algumas populações herbáceas de uma área de caatinga de Pernambuco**. 2007. 60f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Botânica) – Departamento de Biologia, UFPE, 2007.
- LOCK, J. M. The seasonally dry vegetation of Africa: parallels and comparisons with the Neotropics. In: Pennington, R. T.; Lewis, G. P.; Ratter, J. A. (eds.). **Neotropical Savannas and Seasonally Dry Forests: Plant diversity, Biogeography and Conservation**. Boca Raton: CRC Press, 2006. 484p. p. 449 – 467.
- LOPEZ-BERMUDEZ, F. Desertificación: magnitud del problema y estado actual de las investigaciones. Gutierrez, M. & Pena, J. L. (Edit.). **Perspectiva en Geomorfología**. Murcia: Sociedad Española de Geomorfología, 1988, 207p. p. 155 – 169.
- LUETZELBURG, P. V. **Estudo Botânico do Nordeste**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas/IFOCs, 1922. 226p.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, 94, p. 365 – 376, 2004.
- MAINGUET, M. **L'homme et la sécheresse**. Paris: Masson, 1995. 335p.
- MAMEDE, M. A.; ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 458-470, 2008.



- MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, 29: 2241 – 2255, 2009.
- MARENGO, J.A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz (edit.). Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p. 385 – 422.
- MATESANZ, S.; VALLADARES, F. Improving revegetation of gypsum slopes is not a simple matter of adding native species: insights from a multispecies experiment. **Ecol. Eng.**, 30, p. 67 – 77, 2007.
- MEDEIROS, E. S. et al. Trapping Phenomenon Attenuates the Consequences of Tipping Points for Limit Cycles. **Science**, 2017, Rep **7**, 42351.
- MILTON, S. J. Emerging ecosystems: a washing-stone for ecologists, economists and sociologists? **S. Afr. J. Sci.**, 99, p. 404 – 406, 2003.
- MILLS, A. J.; FEY, M. V. Transformation of ticket to savana reduces soil quality in the Eastern Cape, South Africa. **Plant and Soil**, 265, p. 153 – 163, 2004.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A. V.; Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v. 438, n. 17, p. 4312 – 4314, 2005.
- MONTEIRO, C. A. F. **On the desertification in the Northeast Brazil and man's role in this process**. Tsukuba (Japan): University of Tsukuba, Latin American Studies, nº 9, 1988.
- MORANTE – FILHO, J. C. et al. Compensatory dynamics maintain bird phylogenetic diversity in fragmented tropical landscapes. **Journal of Applied Ecology**, 55(1), p. 1 – 11, 2017.
- MORO, M. F. et al. A catalogue of the vascular plants of the Caatinga Phytogeographical Domain: a synthesis of floristic and phytosociological surveys. **Phytotaxa**, 160, p. 1 – 118, 2014.
- MORO, M. F. et al. A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, 82: 91 – 148, 2016a.
- MORO, M. F. et al. The role of edaphic environment and climate in structuring phylogenetic pattern in Seasonally Dry Tropical plant communities. **Plos One**, 10(3): e0119166, 2016b.
- NASCIMETO, C. E. S. et al. The introduced tree *Prosopis juliflora* is a serious threat to native species of the Brazilian Caatinga vegetation. **Sci. Total Environ**, 481, p. 108 – 113, 2014.
- OLIVEIRA, R. B.; GODOY, S. A. P. Composição florística dos afloramentos rochosos do Morro do Forno, Altinópolis, São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, 2007.
- OLIVEIRA, B.; FONSECA, C. R.; COSTA, G. C. Niche dynamics of two cryptic *Prosopis* invading South American drylands. **Biol. Invasions**, 20, p. 181 – 194, 2018.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Climate and soils at the brazilian semiarid and the forest-Caatinga problem: new insights and implications for conservation. **Environmental Research Letters**, 14, 104007, 2019.
- OLIVEIRA, M. T. et al. Stress tolerance and ecophysiological ability of an invader and a native species in a seasonally dry tropical forest. **Plos One**, 9: e105514, 2014.
- OYAMA, M. D. **Consequências climáticas da mudança de vegetação no nordeste brasileiro: um estudo de modelagem**. 2002. 222f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – INPE, 2002.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: A GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, n. 16, p. 3203 – 3213, 2004.
- PELTZER, D. A. et al. Understanding ecosystem retrogression. **Ecol. Monogr.**, 80, p. 509 – 529, 2010.
- PEREIRA, D. D. Quando as Políticas Públicas auxiliam o processo de desertificação: o caso do Cariri paraibano. MOREIRA, E. (Org.). **Agricultura familiar e desertificação**. João Pessoa: UFPB/Ed. Universitária, 2006. 345p. p. 179-203.



- PESSOA, L. M. **Variação espacial e sazonal do banco de sementes no solo em uma área de caatinga, município de Serra Talhada, PE.** 2007. 46f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Departamento de Botânica, UFRPE, 2007.
- PINHEIRO, E. A. R. et al. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**, 9, p. 1313 – 1327, 2016.
- PINHO, B. X. et al. Plant functional assembly is mediated by rainfall and soil conditions in a seasonally dry tropical forest. **Basic and Applied Ecology**, 40: 1 – 11, 201.
- POREMBSKI, S. Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. **Brazilian Journal of Botany**, v. 30, n. 4, 2007.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M. & Silva, J. M. C. (eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. da UFPE, 2005, p. 3 -74.
- PRADO JÚNIOR, C. **História econômica do Brasil**. 35ª ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1987. 280p.
- QUEIROZ, L. P.; RAPINI, A.; GIULIETTI, A. M. **Towards greater knowledge of the brazilian semiarid biodiversity**. Brasília: MMA, 2006. 334p.
- QUEIROZ, A. B.; LIMA, V. R. P.; ARTIGAS, R. C.; SOUZA, B. I.; QUIRINO, Z. G. M. Structure and diversity of a tropical dry forest on residual reliefs in Northeastern Brazil. **Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, p. 129-142, 2020.
- QUEIROZ, R. T.; SOUZA, B. I.; SOUZA, J. L. L.; MEDEIROS, J. R.; FONSECA, C. F.; CARDOSO, E. C. M. Extending the limits of Campos Rupestres in Brazil. **Caminhos da Geografia**, v. 22, p. 115-137, 2021.
- RAMOS, R. P. S.; SOUZA, B. I.; LUCENA, D. B. Application of the hierarchical process analysis technique to the development of methodology for mapping the distribution of Altitudinal Rain Forests in the Brazilian semiarid. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 24, p. 1, 2021.
- REDFORD, K. H. The empty forest. **Bioscience**, v. 42, n. 6, p. 412 – 422, 1999.
- REYNOLDS, J. F. et al. Global desertification: building a Science for dryland development. **Science**, 316: 847 – 851, 2007.
- RIBEIRO, E. M. S. et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga. **Journal of Applied Ecology**, 52, p. 611 – 620, 2015.
- RIBEIRO, E. M. S. et al. Phylogenetic impoverishment of plant communities following chronic human disturbances in the Brazilian Caatinga. **Ecology**, 97, p. 1583 – 1592, 2016.
- RUTTEN, G. et al. Vertical and horizontal vegetation structure across natural and modified habitat types at Mount Kilimanjaro. **Plos One**, 10, 9, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0138822.
- SANDOR, J. A.; HOMBURG, J. A. Anthropogenic soil change in ancient and traditional agricultural fields in arid to semiarid regions of the Americas. **Journal of Ethnobiology**, 37(2), p. 196 – 217, 2017.
- SAMPAIO, E. V. S. Overview of the Brazilian Caatinga. In: Bullock, S.; Mooney, H. A.; Medina, E. (eds.). **Seasonally Dry Tropical Forests**. New York: Cambridge University Press, 1995, p. 35 – 58.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Fitossociologia. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; MAYO, S. J.; BARBOSA, M. R. V. (Eds.). **Pesquisa botânica nordestina: progresso e perspectivas**. Recife (PE): SBB, 1996, p. 203-230.
- SANTOS, D. M. et al. Variação espaço-temporal do banco de sementes em uma área de Floresta Tropical Seca (Caatinga) – Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 234 – 253, 2010.
- SEILER, C. et al. The sensitivity of wet and dry tropical forests to climate change in Bolivia. **J. Geophys. Res. Biogeosci.**, 120, p. 399 – 413, 2015, doi:10.1002/2014JG002749.
- SENEVIRATNE, S. I. et al. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. **Nature**, 443, p. 205 – 209, 2006.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. Impact of human activities on the Caatinga. In: Silva, J. M. C.; Leal, I. R. & Tabarelli, M. **Caatinga: the largest Tropical Dry Forest region in South America**. Cham (SWI): Springer, 2017, p. 359 - 368.



- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: the largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cham: Springer, 2017. 482p.
- SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. **Mercator**, v. 14, n. 1, p. 131 – 150, 2015.
- SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. Temperatura dos solos e suas influências na regeneração natural da caatinga nos Cariris Velhos – PB. **Ra'e ga**, v. 35, p. 261 – 287, 2015.
- SOUZA, B. I.; MENEZES, R.; ARTIGAS, R. C. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. **Investigaciones Geográficas**, n. 88, p. 45 – 59, 2015.
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Políticas Públicas, uso do solo e desertificação nos Cariris Velhos (PB/Brasil). **Scripta Nova**, v. XIV, n. 311, 2010.
- SOUZA, B. I.; QUEIROZ, R. T.; CARDOSO, E. C. Desertificação e riscos à desertificação no Alto Curso do rio Paraíba – PB/Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 11, n. 16, p. 201 – 222, 2015.
- SOUZA, J. J. L. L. et al. Organic Carbon rich-soils in the brazilian semiarid region and paleoenvironmental implications. **Catena**, v. 212, p. 106101, 2022.
- TABARELLI, M.; PERES, C. A.; MELO, F. P. L. The few winners and many losers paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity. **Biological Conservation**, 155, p. 136 – 140, 2012.
- TASSIN, J. André Aubréville (1897-1982), a pioneering forester and a visionary mind. **Bois et Forêts des Tropiques**, 2015, n. 323 (1).
- TEBALDI, C. et al. Going to extremes. In intercomparasion of model-simulated historical and future changes in extremes events. **Climatic Change**, v. 79, p. 185 – 211, 2007.
- TEIXEIRA, C. P.; FERNANDES, C. O. Novel ecosystems: a review of the concept in non-urban and urban contexts. **Landscape Ecology**, 35, p. 23 – 39, 2020.
- TEWS, J. et al. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, 31: 79 – 92, 2004.
- THUROW, T. L. Hydrological effects of rangeland degradation and restoration processes. In: **Rangeland desertification**. Kluwe, Dordrecht, p. 53 – 66, 2000.
- TOMASELLA, J. et al. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197 – 206, 2018.
- UNCCD. **Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**. Paris: General Assembly of the United Nations, 1994. 27p.
- VATTUONE, M. M. L. S. et al. Mother Earth: soil and people relationships during the Prehispanic Period (Northwest Argentina). **World Archaeology**, 40, p. 190 – 205, 2008.
- VERHEYE, W. H. Une approche agropédologique de la désertification. **Secheresse**, n. 2: 94 – 97, 1990.
- VITTE, A. C. **Por uma Geografia Híbrida**. Ensaios sobre os mundos, as naturezas e as culturas. Curitiba: Ed. CRV, 2011. 112p.
- WARDLE, D. A. **Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components**. New Jersey (USA): Princeton University Press, 2002. 408p.
- WINFREE, R.; BARTOMEUS, I.; CARIVEAU, D. P. Native pollinators in anthropogenic habitats. **Annu. Ver. Ecol. Evol. Syst.**, 42, p. 1 – 22, 2011.
- WULF, A. **A invenção da Natureza: a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt**. Renato Marques (Trad.). São Paulo: Planeta, 2016. 590p.
- ZENNI, R.; ZILLER, S. An overview of invasive plants in Brazil. **Rev. Bras. Bot.**, 1, p. 431 – 446, 2011.