

## Capítulo 12

# Condições topoclimáticas e serviços ecossistêmicos prestados pelas castanheiras no Bioma Amazônia

*Lucieta Guerreiro Martorano; Marcelino Carneiro Guedes; Leila Sheila Lisboa; José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes; Nathalia Cristina Costa do Nascimento; Rafael de Paiva Salomão; Pedro Guerreiro Martorano; Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido; Daiana Carolina M. Tourne; Carlos Tadeu dos Santos Dias; Ana Claudia Lira Guedes; Fátima Cristina Guereiro Reale; Raimundo Cosme de Oliveira Júnior; Lucielio Manoel da Silva; Marcos Gervasio Pereira; Lucia Helena de Oliveira Wadt; Kátia Emídio da Silva*

## Introdução

A biodiversidade da floresta amazônica é contabilizada em cerca de 16.000 espécies de árvores, e as hiperdominantes concentram-se em 227 espécies, que representam cerca de 50% de todas as espécies presentes na região (ter Steege et al., 2013). Nesse sentido, é uma preocupação constante da comunidade científica a perda de espécies florestais pela forte pressão do desmatamento, retirada ilegal de madeira e fragilidade na fiscalização ambiental, comprometendo assim os serviços ecossistêmicos prestados às gerações atuais e futuras.

Espécies como a castanheira existem em todo o bioma da Amazônia em países como a Bolívia, o Peru e o Brasil, bem como nas Guianas, no Suriname e ao sul da Venezuela (Mori; Prance, 1990). Os registros de ocorrência no Brasil evidenciam os estados do Acre, do Amazonas, do Pará, do Amapá, de Rondônia, de Roraima e do Mato Grosso. A pressão antrópica demandou ações de inclusão da castanheira entre as espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção na lista do Ministério do Meio Ambiente (Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022), em decorrência do desflorestamento para avanço da fronteira agropecuária, sobretudo no Pará (Martorano et al., 2021).

Geralmente se aceita que as árvores da floresta tropical têm baixa longevidade, raramente ultrapassando 400 anos. No entanto, Chambers et al. (1998) fizeram datação usando  $^{14}\text{C}$  em 20 árvores de 13 espécies emergentes da Amazônia central e, ao contrário de visões convencionais, estimaram idade de até 1.400 anos em um exemplar de *Cariniana micrantha* Ducke, da mesma família da castanheira (Lecythydaceae). Algumas árvores de castanheiras muito grandes foram estimadas por Pires (1976) com mais de 1.000 anos. As castanheiras são emergentes de vida longa, e, em casos extremos, árvores muito antigas provavelmente podem sustentar uma produção de frutos por mais de 800 anos (Peres et al., 2003). Por meio de datação radiocarbônica, Camargo et al. (1994) estimaram uma idade de  $440 \pm 60$  anos para uma castanheira de 233 centímetros de DAP (diâmetro a 1,30 metro do solo), ou seja, incremento médio anual do crescimento em diâmetro de  $0,53 \text{ cm.ano}^{-1}$ . Esse resultado foi extrapolado por Salomão (2009) para nove castanheiras com diâmetros entre 305 e 387 centímetros, registradas na Floresta Nacional Saracá Taquera, no estado do Pará, estimando idades entre 576 a 731 anos. Portanto, trata-se de espécie com potencial de prestação de serviços ecossistêmicos por mais de 5 a 7 séculos.

Em determinadas áreas de castanhais nativos, foram associadas as ocorrências ao processo antropogênico de possíveis plantios por povos tradicionais e regeneração natural decorrente do processo de ocupação de derrubada da floresta, seguida da queima dos roçados por povos indígenas (Shepard Junior; Ramirez, 2011; Tomas et al., 2015). Outro fator de dispersão em curtas distâncias é atribuído ao hábito alimentar de roedores (Tuckhaugaasen et al., 2010). Em locais com ocorrências isoladas, ou seja, em áreas de grandes clareiras, verificou-se que o diâmetro à altura do peito (DAP) é a variável mais expressiva nas avaliações em campo sob a espécie (Salomão, 1991; Peres; Baider, 1997; Zuidema, 2003).

No contexto de serviços ecossistêmicos (SE), o mapeamento de áreas com maior provisão de SE são fundamentais para o planejamento de ações de proteção e conservação de florestas. (Strand et al., 2018). A perda de espécies como a castanheira pode comprometer sua função no contexto regional, principalmente no fornecimento de bens e serviços, à semelhança de estudos que avaliam as funcionalidades de espécies preexistentes em determinado ambiente (Whitford et al., 1999). A integridade ecológica é um forte indicador da qualidade ambiental (Müller et al., 2000; Costanza, 2012) e do valor dos serviços ecossistêmicos prestados (Costanza et al., 1998, Joly et al., 2019).

Outro fator que vem sendo considerado no processo de análise de padrões biogeográficos tem sido associado ao clima, porque possíveis mudanças climáticas podem promover alterações em diferentes escalas, comprometendo a capacidade adaptativa de espécies, por exemplo, de ocorrências em áreas com alta umidade que, em anos de extremos climáticos (Espinoza et al., 2014), podem enfrentar reduções dos estoques de água no solo, com riscos de mortalidade (Esquivel-Muelbert et al., 2017a, 2017b; Mcdowell et al., 2018). Os fatores climáticos podem comprometer a expressão de características funcionais, como morfológicas, fenológicas ou fisiológicas, comprometendo, assim, o crescimento, a reprodução e a sobrevivência (Violle et al., 2007).

Aleixo et al. (2019), analisando a sobrevivência de mais de 1.000 árvores do dossel da floresta tropical, com monitoramento mensal em mais de 200 espécies ao longo de cinquenta anos na Amazônia Central, verificaram que seca, calor, tempestades e anos com chuvas extremas promoveram aumentos na mortalidade das árvores por pelo menos dois anos após o evento climático, e grupos funcionais específicos (pioneiros, madeiras macias e sempre-vivas) apresentaram as maiores perdas em anos de extremos climáticos. Esses autores destacaram que os prognósticos de mudanças climáticas afetam mais as árvores altas, especialmente as espécies de vida curta, e reduzem o armazenamento de carbono em florestas tropicais.

É notório que as florestas tropicais têm passado por alterações em decorrência de diversos fatores em escala global, regional e até local, tais como secas, incêndios, inundações, tempestades e outras adversidades climáticas que podem comprometer, inclusive, a dinâmica e a manutenção de determinadas espécies florestais (Laurance et al., 2004; Brando et al., 2020), prejudicando importantes serviços, como a regulação do clima, a atenuação do calor e a captura do carbono (Pan et al., 2011; Brienen et al., 2015), o que atua nos processos de trocas de vapor d'água, principalmente em escalas regional e local (Ellison et al., 2017). Outro aspecto relevante trata-se dos prognósticos em cenários de mudanças climáticas, pois cada espécie responde de forma particular em função de suas características genéticas fundamentais para a expressão do peso do fruto, do peso da semente por fruto e do número de sementes por fruto (Camargo et al., 2010). As condições ambientais influenciaram baixos coeficientes de repetibilidade, pois, de acordo com Pedrozo et al. (2015), predominantemente, as populações nativas necessitariam de pelo menos nove anos consecutivos de avaliação para obter acurácia superior a 80%; apesar da alta correlação fenotípica permanente entre número de frutos por planta e peso de semente por planta, por exemplo, ainda há a necessidade

de pesquisas para a castanheira. Além disso, essa espécie é típica do bioma Amazônia e necessita de domesticação (Coslovsky, 2013). Nesse contexto, visando garantir o protagonismo do Brasil no mercado nacional e internacional e a conservação da espécie, o objetivo neste capítulo foi analisar áreas impactadas pelo processo antrópico com potencial topoclimático para a castanheira como estratégia de inclusão da espécie em ações de restauração florestal que possam receber apoio de políticas de pagamentos por serviços ambientais (PSA) na Amazônia brasileira.

## Contextualização dos serviços ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos são avaliados ao considerar as relações entre os ecossistemas e seus serviços prestados à sociedade, levando-se em consideração o bem-estar em função de relações socioambientais com as populações. As atividades econômicas devem considerar a importância da manutenção dos serviços ecossistêmicos e buscar a promoção de novos serviços prestados por atividades produtivas que apontem benefícios à humanidade, passivos de valoração (Andrade; Romeiro, 2009). Agregar valor, a partir de análises integradas de processos com base em aspectos ecológicos, sociais e econômicos, pode fornecer ganhos aos produtores que comprovam que as atividades fornecem serviços ambientais, inclusive apoiados por programas de governo, como PSA. A Lei nº 14.119 (13/1/2021) que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e alterou as Leis nº 8.212 (24/7/1991), 8.629 (25/2/1993) e 6.015 (31/12/1973), adequando-as aos novos moldes da política vigente do Brasil (Brasil, 2021).

Nesse contexto, as áreas produtivas são alicerçadas em princípios de sustentabilidade ecológica e equidade social, em que as ideias são convergentes em bases ecológicas, denominadas “economia dos ecossistemas” (The Economics..., 2008), o que respeita os processos dinâmicos das transformações nos ecossistemas, inclusive contabilizando os serviços por eles prestados e os impactos potenciais ao bem-estar humano. Interações e funcionalidades a partir de efeitos antrópicos podem afetar a capacidade dos ecossistemas na manutenção de serviços essenciais à vida em determinado local, região e até em âmbito global (Daly; Farley, 2004).

Esse tema merece ser mais difundido e discutido cientificamente visando à gestão sustentável dos ecossistemas. Garantir provisão dos serviços, organização e sistematização das informações, bem como adotar métodos de análises,



considerando-se peculiaridades regionais e tipos de serviços ecossistêmicos em consonância com o desenvolvimento econômico, não é uma tarefa simples (Bennet et al., 2005). As métricas e os indicadores de valoração demandam dados e informações que forneçam dimensões nas quais seja possível contabilizar o valor monetário a partir de ponderações de valores não monetários. Para The Economics... (2008) o elemento sensível, considerado “bússola econômica”, deve apontar indicadores de desenvolvimento sustentável. O processo deve ser avaliado com base nos sistemas adaptativos complexos que avaliem a relação produtividade-diversidade de forma dinâmica e com efeitos que se retroalimentam (Levin, 1998) em processos que ocorrem, por combinações de ganhos e perdas, mantendo-se o equilíbrio dinâmico evolutivo (Tansley, 1935). Os sistemas ecológicos complexos podem ser avaliados de acordo com características como diversidade, resiliência, sensibilidade, persistência, confiabilidade, sazonalidade e especificidade. Propriedades como variabilidade e resiliência ganham importância em avaliações integradas entre ecossistemas, sistema econômico e bem-estar humano. A resiliência (Arrow et al., 1995) aponta a capacidade em que o ecossistema retorna ao estado natural após um evento de perturbação natural – quanto menor o período de recuperação, maior a capacidade de resiliência de determinado ecossistema.

O ponto de mudança de patamar (ou ponto de ruptura) é definido como o limiar de resiliência do ecossistema. Os limiares, ou pontos de ruptura (*breakpoints, tipping points*), são aqueles pontos-limite em que ocorre drástica mudança no padrão dos ecossistemas, o que é preocupante e desafiador no contexto do *Millennium Ecosystem Assessment* (Millennium Ecosystem Assessment, 2003, 2005; Mueller, 2007). De acordo com Verboom et al. (2015), na América Latina, os aspectos mais sensíveis estão diretamente relacionados a ciclo hidrológico, níveis dos rios, volume de chuva, umidade do solo e mudanças na temperatura do ar, seguidos de aportes de biomassa, estoques de carbono e produção de energia, com riscos de perdas irreversíveis, conforme as especificidades de cada sub-região.

O conceito de ecossistemas como unidade básica de análise (Daly; Farley, 2004) impõe a realização de pesquisas com base em informações geradas a partir de monitoramentos e análises de variáveis respostas para minimizar incerteza e riscos (Romeiro, 2002), principalmente em decorrência de profundas modificações pelo processo antrópico. O setor econômico utiliza-se de bens e serviços ecossistêmicos e, muitas vezes, devolve apenas materiais de descartes inaproveitáveis e conseqüentemente danosos ao meio ambiente, acarretando impactos aos ecossistemas. Dependendo do grau e da escala, os ecossistemas podem não

suportar as pressões, principalmente em regiões com acelerada expansão onde a lógica econômica de maximização da produtividade deveria estimular o desenho de políticas econômicas voltadas à manutenção dos serviços prestados pelos ecossistemas e dos benefícios deles derivados (Daly, 1996; Costanza, 2000; Daly; Farley, 2004).

É possível apontar três perspectivas teóricas (abordagem da ecologia humana, efeitos da modernização e economia ecológica) que buscam analisar os impactos ambientais provocados pela intervenção antrópica sobre os ecossistemas (York et al., 2003). Ao mesmo tempo em que se reconhece a existência de possíveis problemas decorrentes da degradação ambiental, o crescimento econômico pode ser capaz de solucionar os problemas e até aumentar o bem-estar e o senso de justiça dentro das sociedades (Friedman, 2005). Crescimento econômico e degradação ambiental são analisados em termos da chamada curva ambiental de Kuznets (Kuznets, 1955), como a relação entre distribuição individual da renda e crescimento. A distribuição individual da renda tende a piorar no início do crescimento econômico, mas, a partir de determinado ponto de inflexão, ocorrem avanços no crescimento da renda per capita, dando origem à conhecida curva em “U invertido”; testado inclusive para avaliar condições de desigualdades em períodos no Brasil que seguiram o formato de “U invertido” ou curva de Kuznets (Tabosa et al., 2016).

Em se tratando de variáveis ambientais, a curva aponta que os ganhos econômicos iniciam com uma fase essencialmente agrícola e depois passam para a fase de industrialização e modernização, tendendo a ocorrer correlação positiva entre o aumento da renda per capita e a emissão de poluente e degradação ambiental. Fatores como mudanças na composição da produção e consumo, aumento do nível educacional e de consciência ambiental, bem como sistemas políticos mais abertos, tendem a mudar a curva, que passa para uma reversão em relação ao processo inicial. Desse modo, o desenvolvimento tecnológico possibilita ganhos em produtividade com base em métodos produtivos menos nocivos ao meio ambiente em consonância com as leis ambientais mais rígidas e as obrigações tarifárias impostas pelo mercado externo (Arraes et al., 2006). É fundamental a compreensão de processos (funcionalidades) que dão origem aos benefícios prestados pelos ecossistemas e às interfaces destes com o bem-estar humano.

Na Amazônia, a pressão florestal com ampliação das áreas desflorestadas vem ameaçando a manutenção da biodiversidade, inclusive expressa em termos de

fragmentação e degradação florestal onde os efeitos de borda tendem a aumentar a ocorrência de incêndios, redução de populações de determinadas espécies nativas e maior suscetibilidade aos efeitos em cenários de mudanças climáticas (Laurance; Peres, 2006). As áreas onde predominam as florestas tropicais possuem importante papel para a reciclagem da água, decorrente do processo evapotranspiratório que alimenta o índice pluvial na região, e as maiores taxas são registradas na estação seca, quando as florestas são mais demandadas (Lean et al., 1996). Simulações indicam que, se a floresta fosse inteiramente desmatada, haveria redução substancial na evapotranspiração, e as chuvas da estação seca diminuiriam sobre uma grande área, especialmente na parte sul da bacia amazônica (Foley et al., 2007). Se a área desmatada e convertida em pastagem ultrapassar aproximadamente 40% da área de floresta original, a precipitação na estação seca sofrerá um declínio brusco (Sampaio et al., 2007).

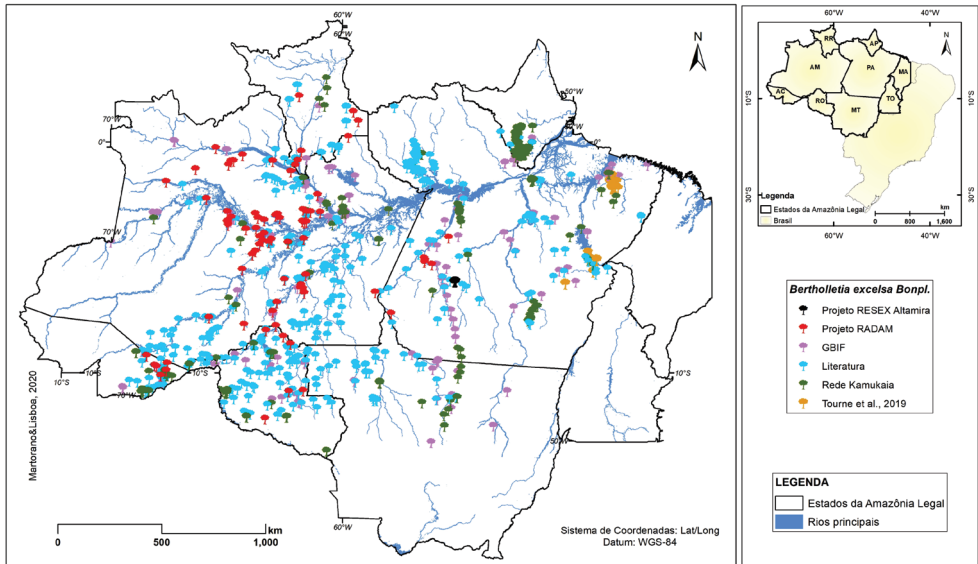
Em cenários de mudanças climáticas, as estimativas apontam aumento nas taxas de incêndios florestais com prognósticos de perdas em 20% da floresta nativa. Sob essas condições há comprometimento na dinâmica de chuvas, aumento no número de dias secos e elevações térmicas evidenciando condições que a região amazônica ultrapasse seu *tipping point* e inicie um processo de transição que representa a perda de até 50% da sua área de floresta nativa (Nobre et al., 2016).

## Base de dados e condições topoclimáticas analisadas em função dos pontos de ocorrências na Amazônia Legal

Para subsidiar as avaliações do potencial topoclimático, foram analisados dados de ocorrências disponíveis em diferentes bases. Vale destacar que o Projeto Mapeamento de Castanhais Nativos e Caracterização Socioambiental e Econômica de Sistemas de Produção da Castanha-do-Brasil na Amazônia (MAPCAST) e a Rede KAMUKAIA (Manejo Sustentável de Produtos Não Madeireiros na Amazônia) reuniram informações para compor os dados desses projetos, os quais foram disponibilizados para este capítulo. Os estudos voltados à valorização dos produtos florestais não madeireiros na Amazônia apresentam contribuições altamente relevantes ao levantamento de dados de campo e à disponibilização nas redes de pesquisas a que integraremos os projetos.

Na Figura 1 é possível observar que foram plotadas as ocorrências de castanheira-da-amazônia, oriundas de seis fontes de dados, devidamente identificados com

cores para diferenciar as fontes de informações. Verifica-se que os estados de Goiás e a parte do estado do Maranhão na Amazônia Legal não apresentam registros de ocorrência de castanheiras nativas.



**Figura 1.** Ocorrências de castanheiras-da-amazônia na Amazônia Legal.

Informa-se que as maiores ocorrências plotadas constam nos registros do Projeto RADAM Brasil que fez o levantamento em mais de 3.000 parcelas de 1 hectare, inventariadas entre 1970 e 1980 (a título de exemplo, Brasil, 1973-1983, 1974a, 1974b, 1975, 1976). Ainda na Figura 1, é possível observar que as ocorrências no estado do Pará estão em áreas próximas aos rios Trombetas, Tapajós, Xingu, Tocantins e afluentes; no Amazonas (nas proximidades dos rios Amazonas, Madeira, Negro, Purus e afluentes); no Acre (as ocorrências estão concentradas nas proximidades dos rios Acre, Purus, Iaco e Abunã); e no Mato Grosso (próximo ao rio Araguaia), conforme já descrito por Tourne et al. (2019) e Martorano et al. (2019).

É importante destacar que os dados de ocorrência contidos na base do RADAM Brasil foram levantados seguindo a metodologia estabelecida pela equipe do projeto, assim como ocorreu com os demais projetos que forneceram informações para subsidiar essa análise de ocorrências. Sabe-se que cada projeto é desenvolvido de acordo com a metodologia e a escala de detalhe que atende aos objetivos para

atingir as metas propostas. Assim, destaca-se que neste capítulo foram utilizadas informações correspondentes a 9.299 pontos identificados por projetos.

Também foram analisados dados de produção de ouriços de castanha-da-amazônia entre os anos de 2007 e 2020, no estado do Acre, e entre 2007 e 2018, no estado do Amapá. Esses dados de monitoramento da produção por planta foram analisados com base na média de 135 indivíduos monitorados no estado do Acre e 80 no estado do Amapá, o que visa indicar o potencial de produção, a partir de dados de campo, disponibilizado para subsidiar análises em provisão de produtos não madeireiros pela espécie, em análises de pagamento por serviços ambientais (PSA).

Outra informação incluída trata-se dos diagnósticos termográficos visando avaliar respostas térmicas, em diferentes alvos, em áreas de castanhais nativos. Essas imagens foram obtidas em Cachoeira Porteira, no município de Oriximiná, no estado do Pará, conforme Autorização n° 273/17, concedida pelo chefe da Rebio Rio Trombetas/Flona Saracá-Taquera, ICMBio Trombetas, para atividade de campo. Isso ocorreu no período de 11 a 14 de setembro de 2017 (Reale, 2019), no contexto do Projeto MAPCAST, que foi cadastrado no SisGen com o n° ACDE838 seguindo as recomendações da necessidade de registrar as atividade de acesso ao Patrimônio Genético/CTA, em atendimento ao previsto na Lei n° 13.123/2015 e em seus regulamentos.

Os registros termográficos foram feitos com câmera no infravermelho próximo (The Ultimate..., 2012), lente de 25 mm e escala térmica entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  com sensibilidade de 50mK ( $<0,05^{\circ}\text{C}$  em temperatura ambiente a  $30^{\circ}\text{C}$ ). O termógrafo possui escala espectral com abrangência de 0,7 a 100  $\mu\text{m}$ , resolução ótica de 640 x 480 pixels e 0,95 de emissividade, e as imagens foram tratadas no programa Flir Tools, 6.3v (The Ultimate..., 2012). Assim, as imagens foram analisadas para identificar padrões térmicos em alvos em castanhais nativos no oeste do Pará.

Para identificar as áreas com potencial topoclimático estratégico de inclusão de castanheiras no processo conservacionista da espécie, em ações de restauração florestal, tomaram-se como base as áreas antrópicas (Martorano et al., 2017) que apresentam fragilidades (alta, média e baixa fragilidade) ao processo erosivo das chuvas na região. Destaca-se que a escala cartográfica do potencial erosivo e da declividade foi de 1:250.000, com base nas cartas que visam subsidiar o planejamento agrícola (Hengl, 2006). As classes de uso e a cobertura do solo,

bem como a declividade, foram integradas usando o SIG ArcGIS 10 para análises integradas e cálculos de área com alto, médio, baixo e muito baixo indicativo de suscetibilidade à perda de solos por erosão hídrica.

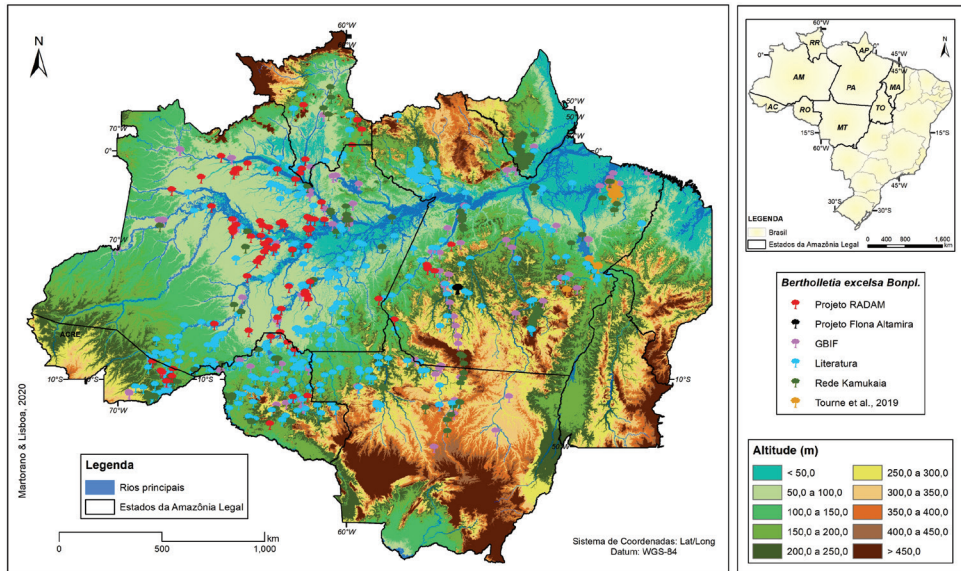
Na avaliação do potencial topoclimático, foram atribuídos pesos com base em critérios estabelecidos de 0 a 10 em escala de importância, definida em painel de especialistas. Os valores mais baixos indicaram áreas com menor fragilidade e baixo potencial topoclimático, e os valores mais altos, áreas com maior fragilidade e baixa ocorrência. O maior peso da média ponderada dos fatores foi atribuído ao fator antrópico, ocorrência e faixas climaticamente dominantes. Portanto, o mapa de potencial topoclimático surgiu com base na classificação das classes pelo método do quartil em quatro classes: baixo, médio, alto e muito alto potencial de inclusão das castanheiras em estratégias restaurativas de uso na Amazônia.

Foram utilizadas variáveis meteorológicas na análise multivariada para avaliar simultaneamente diferentes medidas referentes à análise de processos usando Análise de Componentes Principais (ACP), aplicada para identificar a contribuição do clima em respostas na agricultura (Moura et al., 2018). A técnica da ACP possibilita identificar o relacionamento entre variáveis, podendo ser utilizada para auxiliar nos processos de tomada de decisão por meio da previsão da ocorrência de fenômenos climáticos em determinada área de interesse.

## Condições topoclimáticas na Amazônia Legal analisadas com base nos pontos de ocorrência da espécie

Na Figura 2 observam-se as condições hipsométricas predominantes na região. É possível observar altitudes inferiores a 250 metros que caracterizam as planícies ao longo do Rio Amazonas. Contudo, engana-se quem desconsidera que na região existem áreas com relevo mais acidentado, principalmente identificados nos estados do Pará, do Mato Grosso, de Roraima, na porção leste de Tocantins, no sul do Maranhão e na porção central do Acre.

Vale destacar que, nas cotas hipsométricas inferiores a 200 metros e na faixa de 250 a 350 metros, concentram-se os maiores registros de ocorrências (7.920), ou seja, 85,2% dos pontos – dominância no levantamento realizado pelo RADAM Brasil entre os anos 1970 e 1980 (século XX). Nas faixas de 200 a 250 metros e

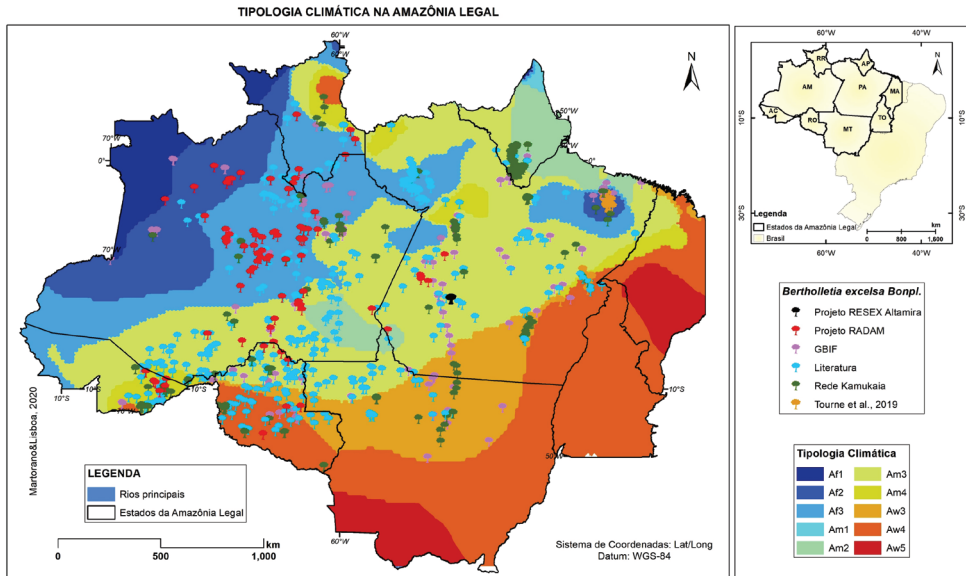


**Figura 2.** Mapa hipsométrico indicando os pontos de ocorrência da castanheira-da-amazônia na Amazônia Legal.

de 350 a 400 metros, foram identificados 14,2% dos indivíduos, correspondentes a 1.347 pontos, e 0,3% em cotas altimétricas superiores a 400 metros.

Essas ocorrências nas menores cotas hipsométricas podem ser explicadas pela teoria da disseminação da espécie pelas ações dos antigos habitantes da região, principalmente pelas rotas dessas populações e pelas ocorrências dos castanhais nos rios Trombetas e nas vizinhanças do Madeira. Os indígenas que viviam no Trombetas, antes do descobrimento do Brasil, foram dizimados no século XVI, e os habitantes nas proximidades do rio Madeira continuaram ocupando a região, mesmo após a colonização portuguesa (Scoles; Gribel, 2011; Shepard Junior; Ramirez, 2011). No que se refere às ocorrências de acordo com a tipologia climática (Figura 3), não foram encontrados registros no subtipo  $Aw_5$  e  $Am_1$ , bem como menos de 0, 1% no  $Af_1$ , evidenciando potenciais limitações nesses subtipos climáticos, tanto em termos de alta pluviosidade anual ( $Af_1$  e  $Am_1$ ) quanto para baixa oferta de chuva ( $Aw_5$ ). Foram contabilizadas 94,7% das ocorrências regidas pelas tipologias  $Af_3$ ,  $Am_3$ ,  $Am_4$  e  $Aw_3$ , reforçando que elas predominam nesses subtipos climáticos. Os 5,2% restantes foram identificados nos subtipos  $Af_2$ ,  $Am_2$  e  $Aw_4$ .





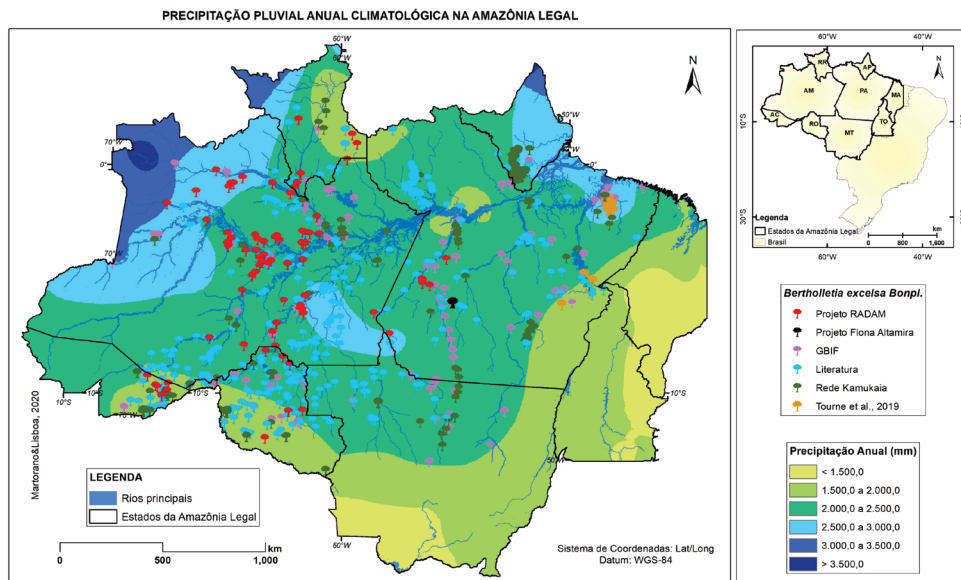
**Figura 3.** Mapa de tipologia climática e pontos de ocorrência de castanheiras na Amazônia Legal.

Quando se avaliam os valores de chuva anual, nota-se que 95,2% das castanheiras estão localizadas nas faixas de 1.500 mm a 2.500 mm e de 4,8% em áreas mais pluviosas, entre 2.500 mm a 3.000 mm. Não foram localizadas ocorrências em áreas com chuvas anuais superiores a 3.000 mm e inferiores a 1.500 mm (Figura 4).

A Floresta Amazônica representa importante papel para o processo de reciclagem de águas pluviais (Trenberth, 1999; Fearnside; Laurance, 2004), sendo um importante serviço ecossistêmico prestado para a manutenção do regime das chuvas e a manutenção da floresta, da ordem de  $3 \text{ a } 5 \times 10^{12} \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  (Salati et al., 1979), além de fornecer vapor d'água para outras regiões no Brasil, inclusive até para países vizinhos, como o Paraguai e a Argentina.

Os ventos alísios (Arraut et al., 2012), associados com o fluxo norte/noroeste, transportam umidade em direção às regiões subtropicais, na porção leste dos Andes, e formam estreitos corredores, denominados rios atmosféricos (Zhu; Newell, 1998). A precipitação pluvial é reciclada e retorna à atmosfera pelo processo evapotranspiratório, indicando a contribuição da vegetação em 48% para o regime de chuva na Amazônia (Marengo et al., 2018, Ent et al., 2014).

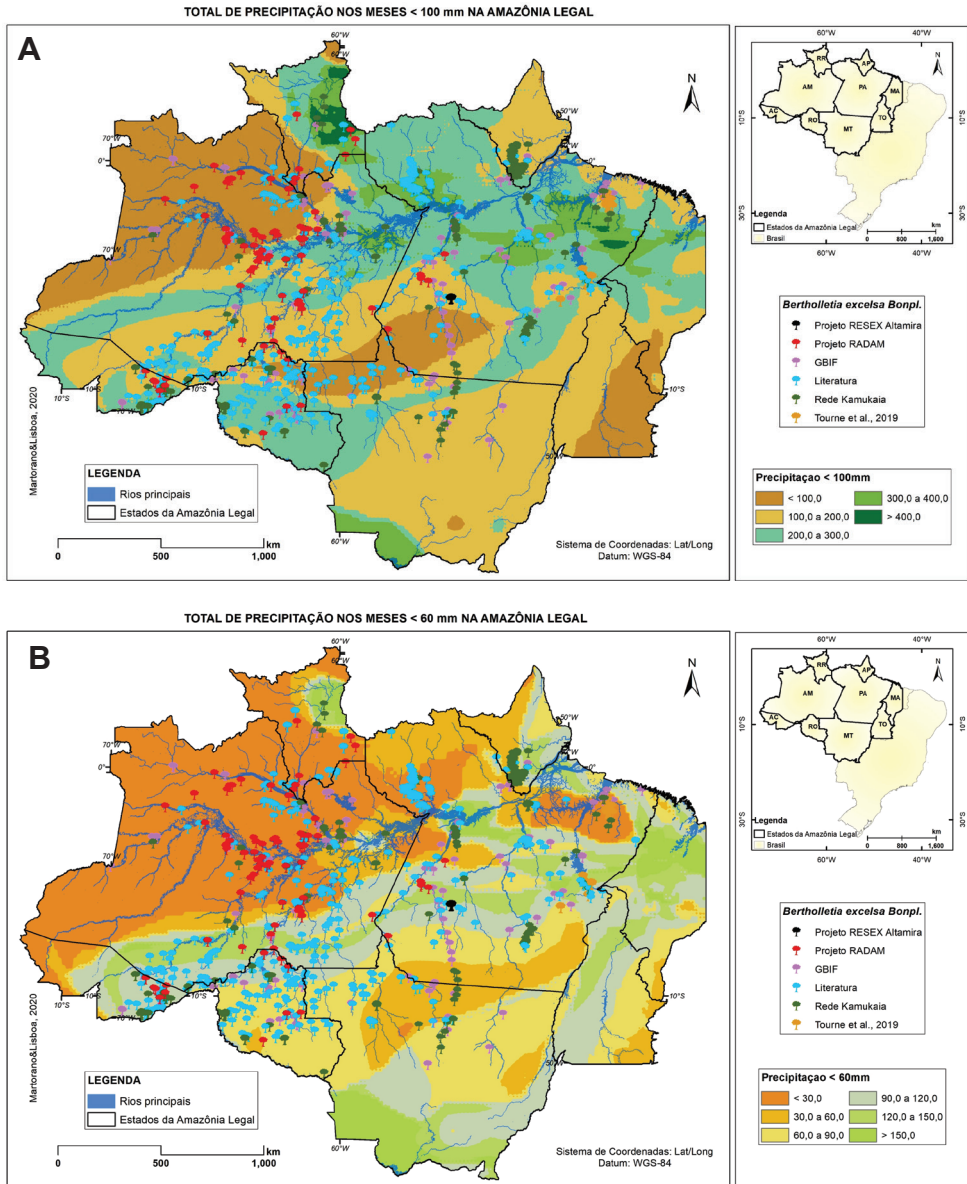




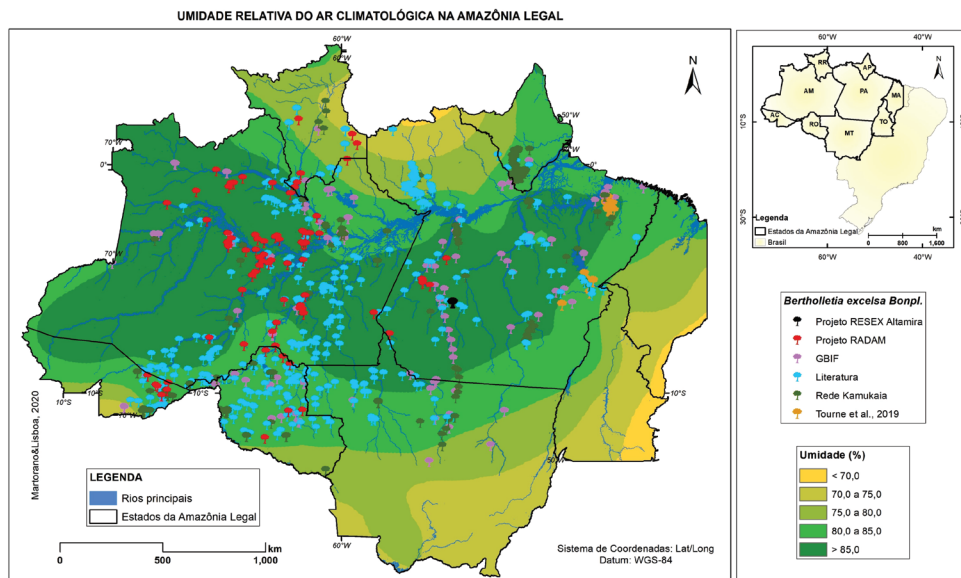
**Figura 4.** Mapa de precipitação pluvial anual e pontos de ocorrências de castanheiras na Amazônia Legal.

Ao analisar as faixas pluviiais contabilizando-se os meses com chuva abaixo de 100 mm e os meses com chuva abaixo de 60 mm (Figura 5 A e B, respectivamente), nota-se que os menores valores indicam redução do número de meses com chuvas inferiores a 100 e 60 mm, o que não compromete a ocorrência da espécie. Nas áreas com maiores cotas pluviiais, reforça-se que existem meses com chuvas abaixo desses valores; ao serem contabilizados, apresentam mais meses com os valores inferiores a 100 e 60 mm.

Nas áreas com umidade relativa do ar entre 75% a 85%, estão localizadas predominantemente as ocorrências de castanheiras-da-amazônia, totalizando 99,8%, o que é um importante indicativo na análise de respostas da espécie a essa variável climática na região. Não foram localizadas ocorrências em áreas com umidade relativa do ar média anual inferior a 70%, e os percentuais restantes (0,2%) localizam-se em áreas com umidade na faixa de 70 a 75% (Figura 6).



**Figura 5.** Total de chuva nos meses abaixo de 100 mm (A) e total de meses com chuva abaixo de 60 mm (B) nos pontos de ocorrências de castanheiras na Amazônia Legal.

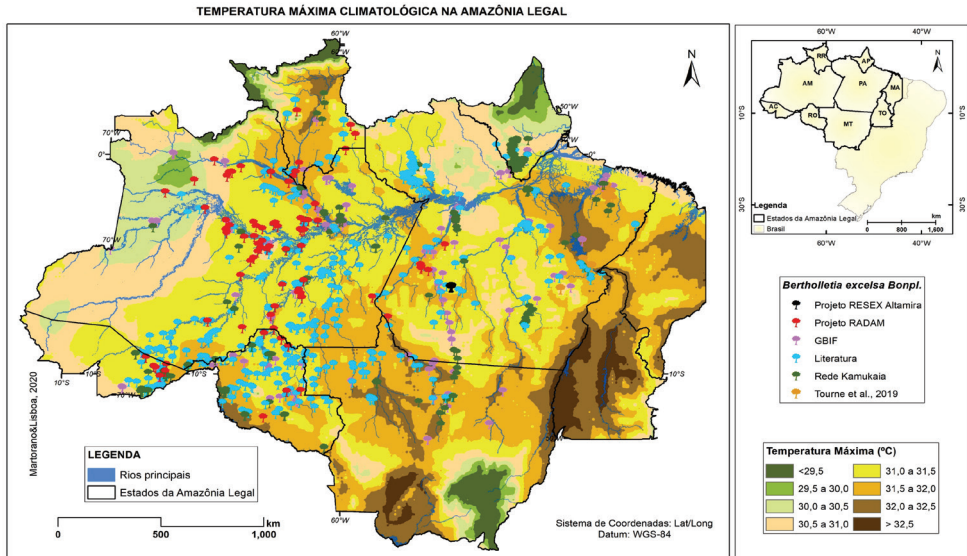


**Figura 6.** Umidade relativa do ar e ocorrências de castanheiras na Amazônia Legal.

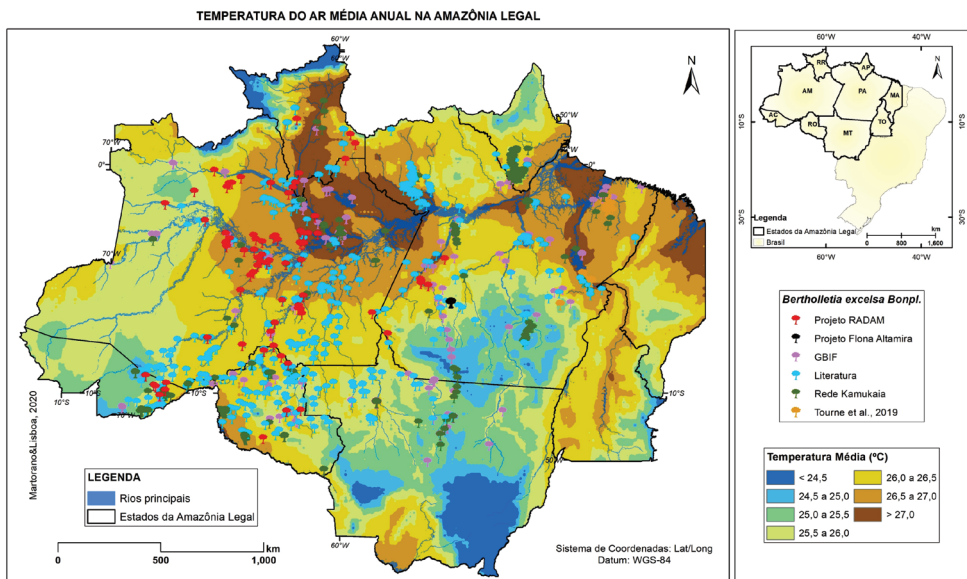
Em regiões com temperaturas máximas entre 30,5°C e 32,0°C, concentram-se 94,1% das ocorrências existentes nas bases de dados analisadas, e 5,9% estão localizadas na faixa térmica máxima de 30,0°C a 30,5°C e de 32,0°C a 32,5°C. Observa-se que, em temperaturas máximas inferiores a 29,5°C e superiores a 32,5°C, não foram detectadas ocorrências (Figura 7).

Analisando-se as condições térmicas em termos de média anual, foram detectadas 86,1% das ocorrências nas faixas de 25,5°C a 26,5°C, bem como em áreas com temperatura média superior a 27,0°C. Nas faixas entre 24,5°C e 25,5°C e entre 26,5°C e 27,0°C, estão concentradas 13,9% das castanheiras-da-amazônia, o que aponta possíveis restrições a essa ocorrência (Figuras 8 e 9).

Estudos apontam que as flores das castanheiras são polinizadas por abelhas grandes e específicas, com predominância das visitas nos horários ente 5h30 e 11h em decorrência da queda do androceu e das pétalas ao final da manhã (Müller et al, 1980; Nelson et al., 1985; Mori; Prance, 1990; Maués, 2002). Essas informações podem apontar a importância da temperatura como variável resposta ao processo de estabelecimento da espécie nessas áreas.

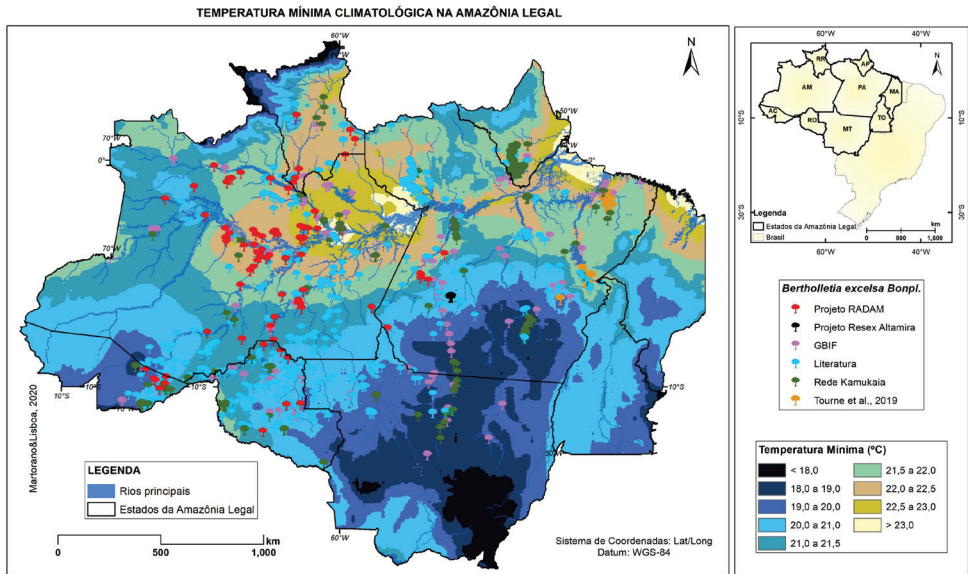


**Figura 7.** Mapa de temperatura máxima anual e pontos de ocorrências de castanheiras na Amazônia Legal.



**Figura 8.** Mapa de temperatura média e pontos de ocorrência de castanheiras na Amazônia Legal.

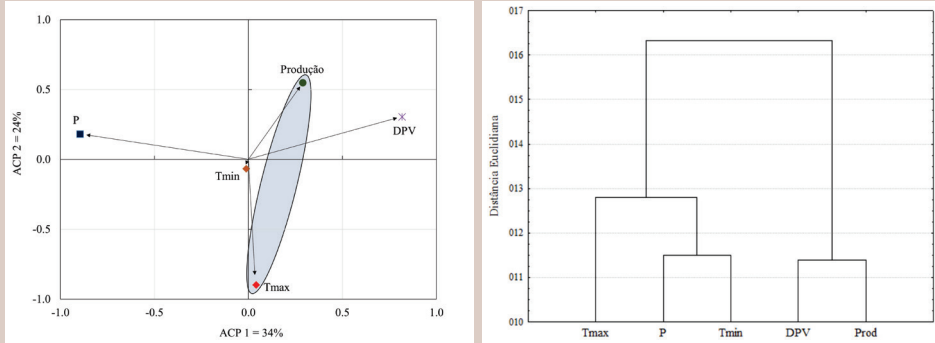
Valores de temperatura mínima entre 18,0°C e 19,0°C e entre 20,0°C e 22,5°C foram contabilizados em 93,7% das ocorrências de castanheiras. Já os 5,7% ocorreram nas faixas térmicas mínimas entre 19,0°C e 20,0°C e entre 22,5°C e 23,0°C.



**Figura 9.** Mapa de temperatura mínima e pontos de ocorrência de castanheiras na Amazônia Legal.

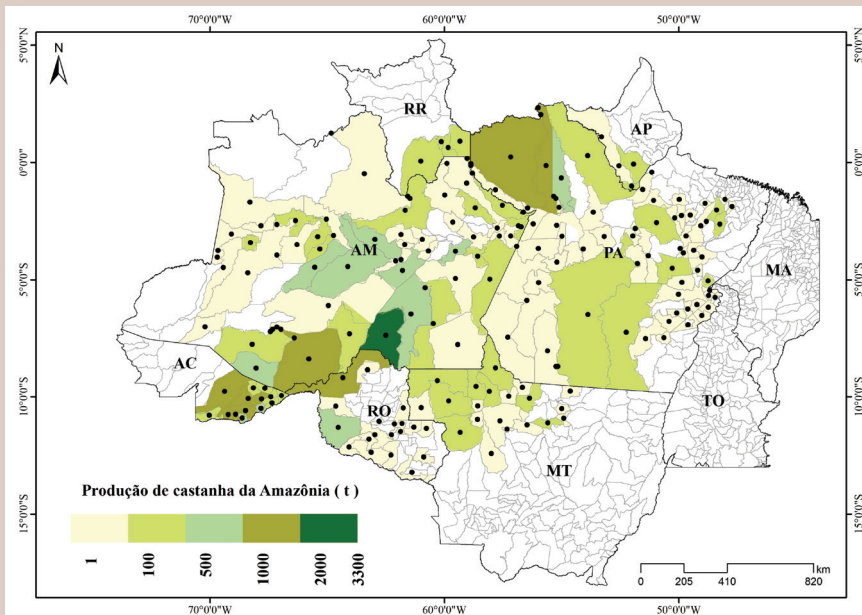
Com base na análise de variáveis climáticas entre os anos de 1989 e 2017, obtidas do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), do sistema de assimilação de dados contidos no Era-Interim, de acordo com os mesmos pressupostos de Moraes et al. (2020), fez-se a análise com relação à produção média nos municípios na Amazônia Legal, observou-se que o plano bidimensional gerado pelos dois primeiros componentes principais ACP1 e ACP2 respondem por 58% da variabilidade contida no conjunto de dados. Vale destacar que a seta composta pela temperatura máxima do ar (Tmax) age de forma inversa à produção, ou seja, quando o valor da Tmax aumenta, o valor de produção tende a diminuir, reforçando que condições térmicas podem apontar expressões no aumento ou na queda de produção em cada ano/safra. Variáveis derivadas, como o déficit de pressão de vapor (DPV), devem ser levadas em consideração em análises de produção de castanha-da-amazônia não explicada ao avaliar os totais de chuva anual na região (Figura 10 A e B).





**Figura 10.** Análise de componentes principais de variáveis climáticas e produção censitária municipal de castanha-da-amazônia.

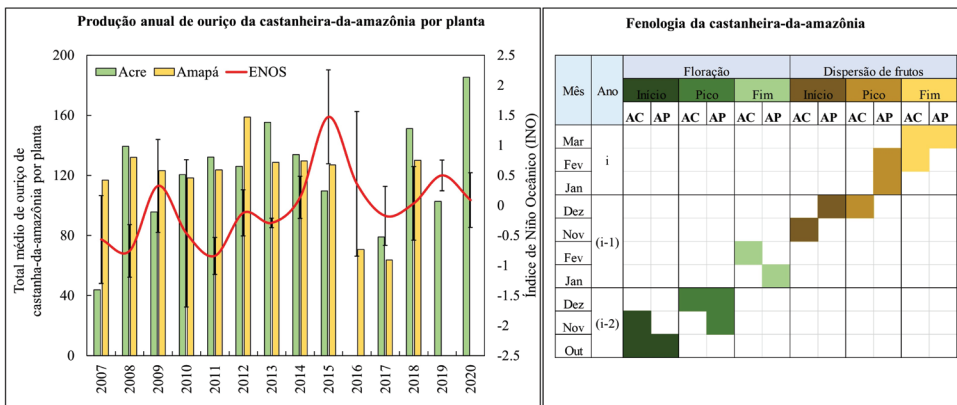
Municípios mais produtivos podem contabilizar valores da ordem de 3.300 toneladas em áreas de ocorrências de castanheiras na Amazônia Legal (Figura 11). Os municípios mais produtivos encontram-se nos estados do Amazonas, seguidos do Pará e do Acre, reforçando a importância de uniformização do nome castanha-da-amazônia como um produto de origem geográfica na região.



**Figura 11.** Produção de castanha-da-amazônia em toneladas nos municípios que integravam a Amazônia Legal no ano de 2019. Fonte: Automática – SIDRA.

Os resultados apontaram que no Acre a produção média por árvore é de 119 ouriços, e no Amapá contabilizaram-se, em termos de média por planta, 121 ouriços. Porém, a variação anual pode ser estar associada a eventos extremos de grande e média escala (Souza; Ambrizzi, 2003; Sousa et al., 2019; Giannini et al., 2001) que intensificam ou reduzem a oferta de chuva anual na região. Ao observar os resultados apresentados na Figura 12, nota-se que em 2011 o La Niña forte pode ter influenciado na produção média mais expressiva no estado do Amapá, em 2012. Ao analisar os meses em que a espécie passa por estágios fenológicos como floração e dispersão de frutos, os efeitos do extremo climático de alta pluviosidade evidenciam que no Acre a alta produção ocorreu na safra de 2013. Por outro lado, os efeitos do El Niño forte de 2015 foram determinantes para a queda de produção de ouriços em 2016, no Amapá, e em 2017, no estado do Acre.

Vale notar que os meses de floração e dispersão dos frutos no estado do Acre e no Amapá ocorrem em períodos distintos (Figura 12). Pode-se observar que o pico de floração no Acre acontece no mês de dezembro, enquanto no Amapá se estende entre os meses de novembro e dezembro. Em anos que ocorrem eventos como o El Niño – Oscilação Sul (ENOS), o regime de chuva sofre alterações, principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro, o que influencia as condições de clima no sul do Brasil (Cunha et al., 2011) até a região Amazônica (Pedreira Junior et al., 2020). Portanto, nesses períodos na Amazônia, as chances de ocorrerem



**Figura 12.** Produção média de ouriço de castanha-da-amazônia por planta em áreas de monitoramento no Acre e no Amapá, estados que integram a Amazônia Legal. Fenologia da castanha-da-amazônia para o Acre e Amapá; (i) é o primeiro ano cronológico, (i-1) é o segundo ano cronológico e (i-2) é o terceiro ano cronológico.

eventos de chuvas abaixo do normal são maiores em anos de El Niño e acima da média em anos de La Niña. Em termos de dispersão de frutos, no AC o período de picos se concentra no mês de dezembro e no AP, entre janeiro e fevereiro.

## Serviços ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos podem ser analisados em quatro eixos principais: provisão, suporte, cultural e regulação. Em síntese, os **serviços de provisão** podem ser listados como: suco, óleo, amêndoas, potencial energético, alimentação para animais, polinizadores, produção de flores, matéria-prima para uso em produtos artesanais, cosméticos, tratamentos fitoterápicos e fonte de energia. **Serviços de regulação**: menor amplitude térmica devido ao fornecimento de sombra; liberação de compostos voláteis emitidos para a atmosfera e regulação das chuvas; manutenção de estoques de carbono no solo como estratégia de redução de gases do efeito estufa por povoamentos de castanheira-da-amazônia conservados por meio do agroextrativismo.

Além disso, há benefícios com o afrouxamento da estrutura do solo pelas raízes e consequente aumento da permeabilidade do solo, o que promove a recarga dos aquíferos e o aumento da matéria orgânica do solo (Silva et al., 2021). Ademais, essa espécie promove a reciclagem de nutrientes e de água. **Serviços de suporte**: tratados como parte das estruturas, processos e funções subjacentes que caracterizam os ecossistemas como produção de solo e oxigênio, ciclagem de nutrientes e produção primária<sup>82</sup>. **Serviços culturais**: os povoamentos de castanheiras oferecem espaços para educação, recreação e observação de pássaros. Vale destacar que, em períodos de safra, é perigoso transitar debaixo de castanhais devido à queda de ouriços, que podem pesar de 1 a 3 quilos. Por fim, existem locais nas florestas que são considerados sagrados pelas pessoas que vivem próximas às áreas com castanheira-da-amazônia.

As trocas energéticas, de massa e de umidade entre a superfície e a atmosfera prestam serviços ecossistêmicos, como de regulação climática, por atuarem como absorvedores de carbono da atmosfera no transporte de gases traço, aerossóis e vapor d'água para outras regiões, bem como na reciclagem da precipitação pluvial (Artaxo et al., 2005; Fearnside, 2005; Satyamurty et al., 2013), reforçando a importância de áreas com floresta na Amazônia. Nesse contexto, onde existem

<sup>82</sup> Veja em: <https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais/sobre-o-tema>



pontos de ocorrências de castanheiras nativas, mas que se encontram antropizadas, a espécie deve ser incluída no cardápio de nativas, tendo indicador climático de valoração, por exemplo, com base nas estimativas do volume de água liberado para atmosfera pelo processo evapotranspiratório.

A título de informação, existem diferentes métodos de estimativa de valor, tais como: valoração contingente, preços hedônicos, custos de viagem, produtividade marginal, mercado de bens substitutos, custos evitados, custos de controle, custo de reposição e custos de oportunidade (Marques; Comune, 2003). Esses métodos podem até ter limitações nas avaliações de bens e serviços gerados pela natureza, mas podem ser aplicáveis em avaliações de PSA.

Outro aspecto que vale considerar refere-se aos plantios em áreas de restauração florestal com a inclusão de espécies nativas em sistemas produtivos com grandes benefícios pela adoção de arranjos na forma de sistemas agroflorestais (SAFs), que vislumbram ao longo do tempo a possibilidade em avaliar os serviços prestados (Idol et al., 2011). A produção de recursos madeireiros e não madeireiros, alimentos, diversidade na produção, aumento da biodiversidade florística e faunística e outros bens (Woda, 2009; Arco-Verde; Amaro, 2015), além de proteger as áreas cultivadas de processos erosivos, diversifica a ciclagem de nutrientes e os estoques de matéria orgânica (MO) no solo. Entretanto, para contabilizar os serviços, deve-se levar em consideração como os seres humanos irão se beneficiar em termos dos quatro eixos: regulação, suporte, cultural e provisão (Fisher et al., 2009; Vasconcellos; Beltrão, 2018).

Comparando-se os padrões térmicos em diferentes alvos em uma árvore de castanheira em Cachoeira Porteira, município de Oriximiná, no estado do Pará, é possível identificar importantes serviços ecossistêmicos prestados pela espécie nativa da Amazônia. Condições como atenuação de calor torna-se um importante serviço de regulação térmica, conforme a Figura 13. Os resultados dos padrões termográficos confirmam a viabilidade da termografia como ferramenta de análise a campo na identificação de potenciais serviços ecossistêmicos prestados em áreas de castanhais nativos.

Ao considerar que uma árvore de castanheira bombearia diariamente vapor d'água pelo processo evapotranspiratório, os indivíduos que foram impactados pelo avanço do desflorestamento na região, ou seja, os indivíduos que foram inventariados pelo RADAM Brasil, foram suprimidos e deixaram de prestar os serviços associados

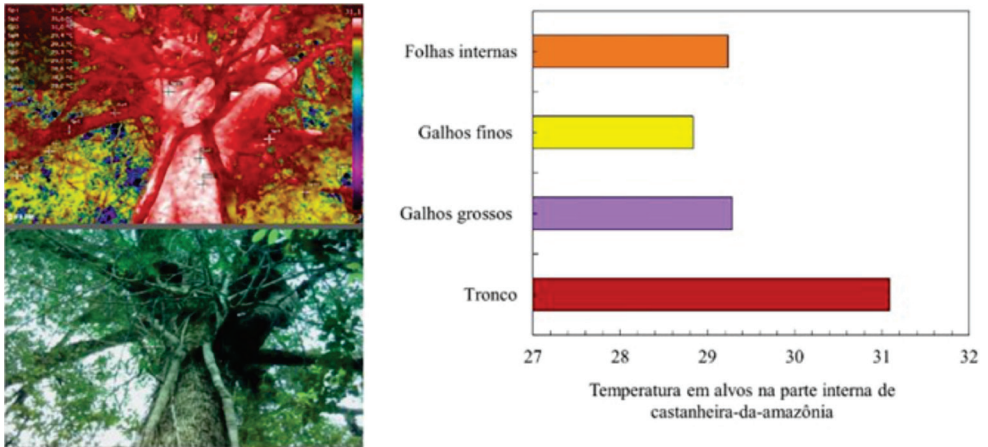
no ciclo hidrológico. Isso evidencia que as árvores de castanheiras suprimidas ocasionaram perdas na função em regulação térmica, estoques de carbono, provisão de frutos, redução na oferta de alimentos às populações, entre outros. A reposição com plantios de castanheiras deve ser fomentada por política de pagamento por serviço ambiental (PSA), principalmente incluindo a castanheira no cardápio dos arranjos em sistemas agroflorestais nas áreas antrópicas que tinham castanheiras.

Outro aspecto que deve ser ressaltado refere-se aos dados de inventários florestais que apontaram a espécie (*Bertholletia excelsa*) como sendo a de maior diâmetro médio na floresta e mais longeva. De acordo com Salomão (1991), o diâmetro médio de copa é de 20 metros, altura de 60 metros e diâmetro do fuste da ordem de 5,0 metros, evidenciando a importância desses dados nas estimativas das análises em estudos de valoração por serviços prestados às populações na Amazônia; inclusive, foi identificada a espécie mais antiga na floresta nas áreas de ocorrência. Com base nas avaliações de campo, realizadas por Wadt e Kainer (2009), os resultados evidenciaram que a produção média no Acre por árvore foi de 72 frutos (dados de 140 indivíduos), mas a produção máxima foi de 1.159 frutos.

É importante ressaltar que, na matriz de avaliações, devem ser considerados os benefícios tangíveis ao considerar as castanheiras (como produção de madeira, alimentos, fonte de energia com o reaproveitamento dos ouriços de castanha, matéria-prima para usos em artesanatos), bem como os intangíveis (amenidades como beleza cênica, atrativos para polinizadores, regulação térmica (Figura 13), ciclagem hídrica), nas áreas com castanhais nativos visando avaliar os serviços ambientais a partir da introdução da espécie em áreas degradadas ou em vias de degradação.

Dos 6.857 pontos de ocorrências existentes nas bases de dados utilizadas neste capítulo, é importante destacar que, dentre os pontos mapeados pelo Projeto RADAM, cerca de 46% estavam localizadas na área antrópica, considerada até 2008 como base no Zoneamento Ecológico Econômico (UZEE), utilizada por Martorano et al. (2019). Isso indica que o avanço da fronteira agrícola e outros fatores de uso do solo promoveram perdas dos serviços ecossistêmicos, prestados pela castanha-da-amazônia.

Outro resultado que merece destaque trata-se dos pontos monitorados pela Rede KAMUKAIA, pois, dos 5.784 existentes na base de dados, foram impactados 38% ao analisar a área antrópica do UZEE. Os indivíduos mantidos nas parcelas



**Figura 13.** Padrões termográficos em castanheira-da-amazônia em áreas de ocorrência em Cachoeira Porteira, no oeste do Pará, município de Oriximiná. Observa-se que as áreas do tronco apresentam temperaturas mais elevadas, seguidas das folhas internas e dos galhos grossos, e as menores temperaturas ocorrem nos galhos finos, evidenciando o efeito de atenuação do calor nas áreas mais protegidas da incidência direta dos raios solares.

de monitoramento devem ser conservados, pois estão fornecendo importantes informações quanto aos serviços ecossistêmicos, além de manutenção de material genético, que devem ser valorizadas e consideradas nos processos restaurativos com plantios da espécie na região.

Para subsidiar futuras análises, vale mencionar os estudos de Andrade e Romeiro (2009) que discutem sobre a importância de utilizar os princípios de sustentabilidade ecológica e equidade social, procurando convergir com os ideais de uma economia ecológica, em que para cada serviço (de provisão, de regulação, de suporte e cultural) são estabelecidos intervalos, sendo os serviços calculados em dólares com base em faixas de valoração relacionadas aos valores preconizado por Costanza et al. (1997), sendo os maiores valores para provisão em oferta de água entre 3 e 7.600 dólares. Para regulação climática, o valor estimado pelos referidos autores varia entre 88 e 223, considerando custos evitados. Destaca-se que é possível usar essas escalas de valores para contabilizar os serviços e estimar os recursos que deveriam ser necessários em PSA para mitigar em serviços ecossistêmicos pela supressão entre 1980 e 2008 de cerca de 48% dos indivíduos inventariados pelo Radam Brasil. Outro aspecto que deve ser ressaltado trata-se do uso de ferramentas como a termografia infravermelha, que permite contabilizar valores por regulação térmica pela castanheira, possibilitando estimar as perdas nas áreas de supressão.

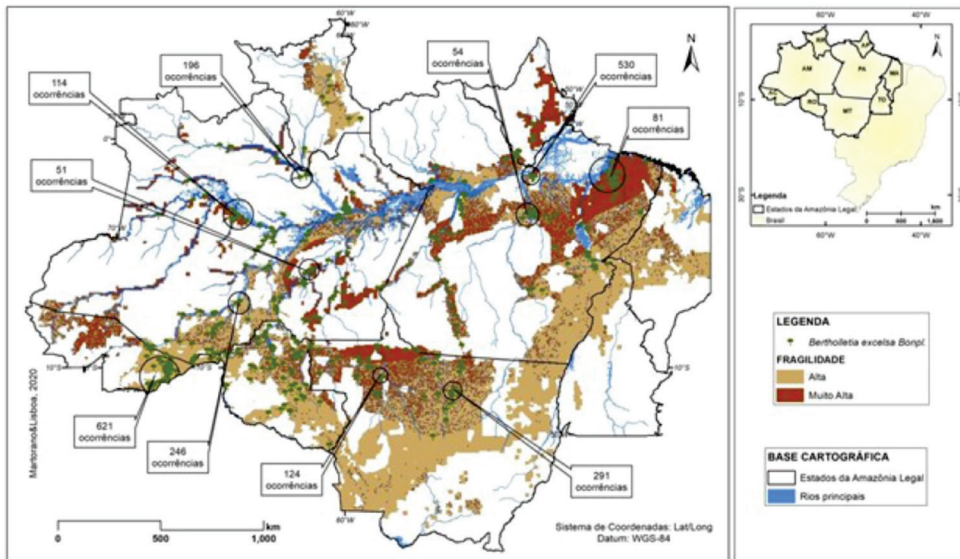
Na Figura 14 foram identificados os pontos inventariados mais impactados pelo processo de antropização na Amazônia Legal. Assim, é possível identificar, a partir das áreas de muito alta e alta fragilidade quanto ao processo erosivo (Martorano et al., 2019), que a castanheira-da-amazônia é forte candidata em processos de restauração florestal com espécies nativas da região. Os intervalos de valores devem ser estabelecidos em painéis de especialistas e outras métricas para definição das dimensões de análise. Todavia, o que merece atenção é que as áreas de muito alta e alta fragilidade na Amazônia que apontam para perdas consideráveis em antigos castanhais nativos devem ser as preferenciais na tomada de decisão nas ações de restauração florestal. Ao analisar os potenciais serviços ambientais prestados por produtores que adotarem estratégias conservacionistas, esses intervalos e técnicas podem ser tomados como base de valoração pela inclusão da castanheira-da-amazônia no processo produtivo em áreas já impactadas pela antropização.

Como os 107 indivíduos inventariados no projeto Radam foram impactados pelo processo antrópico entre 1980 até 2008, essas árvores apresentam alto potencial de serem incluídas nas análises de perdas de serviços ecossistêmicos às populações. Outro aspecto a ser analisado são as perdas em produção anual média nesses 28 anos, evidenciando-se as perdas na balança comercial, em âmbito nacional e internacional, ou seja, a redução de oportunidades bioeconômicas na região.

Considerando-se que em áreas impactadas por ações antrópicas seja tomada a decisão de incluir no processo de restauração a castanheira-da-amazônia, tanto em plantios solteiros (monocultivo) quanto em arranjos agroflorestais, espera-se que a partir do estabelecimento de indicadores de recuperação dessas áreas degradadas ou em vias de degradação os produtores possam receber benefícios como o pagamento pelos serviços ambientais prestados à sociedade.

A valoração possibilita incorporar ganhos econômicos ao comprovar quantitativamente e qualitativamente as adicionalidades em provisão, suporte, regulação e cultura, aderentes à Política Nacional do Clima, em que o PSA está incluído. Essas estratégias de mudança de paradigma no processo restaurativo ampliam a conectividade ecológica e a capacidade de resiliência de ecossistemas e reduzem o assoreamento e a poluição de corpos hídricos, bem como os níveis de fragilidade ao processo erosivo das terras.

É evidente que na Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços de Ecossistemas (IPBES), existem ferramentas e métodos para proteger e usar de forma sustentável esses recursos naturais que são vitais à humanidade (Díaz et al.,

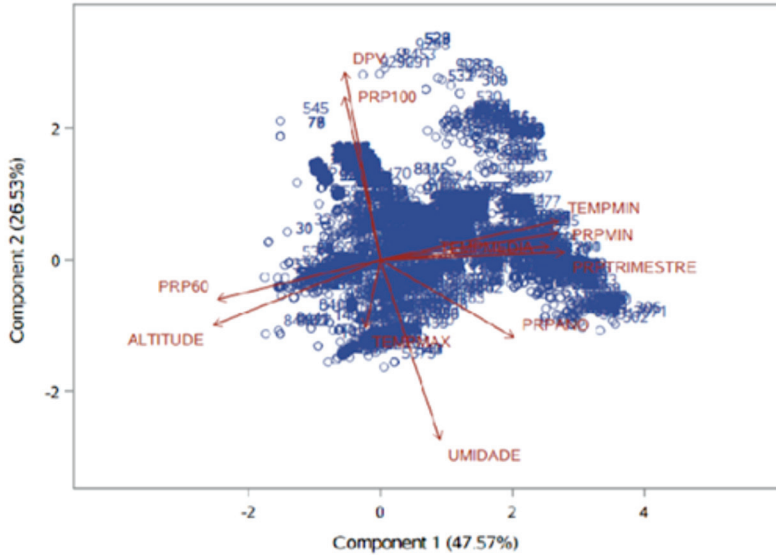


**Figura 14.** Indicação de pontos impactados pelo processo de antropização em áreas de castanhais nativos localizados em áreas de muito alta e alta fragilidade na Amazônia Legal.

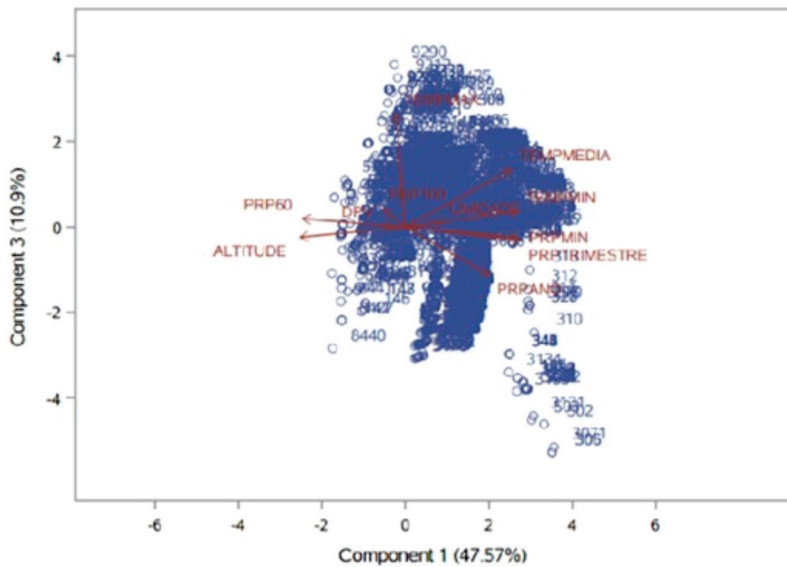
2015). No Brasil, os programas com ações exitosas em PSA estão diretamente relacionados aos recursos hídricos, como os produtores de água nas regiões Sul e Sudeste do país. Porém, os que apresentam abrangência em nível nacional estão mais diretamente relacionados aos estoques de carbono (Pagiola et al., 2013). Neste sentido, essa abordagem expressa a importância da realização de avaliações de forma sistêmica e por equipe interdisciplinar e interinstitucional.

Ainda com intuito elucidativo, apresentam-se os resultados de análises estatísticas com base nas ocorrências e variáveis topoclimáticas. Na Figura 15 (A e B) é possível identificar a magnitude e a direção dos coeficientes das variáveis originais, sendo que no componente principal 1, que corresponde a 47,57% da variabilidade dos dados, as variáveis com maior contribuição no fator são altitude e total de precipitação mensal inferior a 60 mm (PRP60), que são diametralmente opostos às contribuições da temperatura mínima anual (°C), precipitação mínima (mm) e total de precipitação no trimestre menos chuvoso (mm). No componente principal 2, que responde por 26.35% da variabilidade existente, o déficit de pressão de vapor (DPV), o total de precipitação nos meses inferiores a 100 mm (PRP 100) e a umidade relativa do ar anual (%) contribuem para a formação desse fator,

A



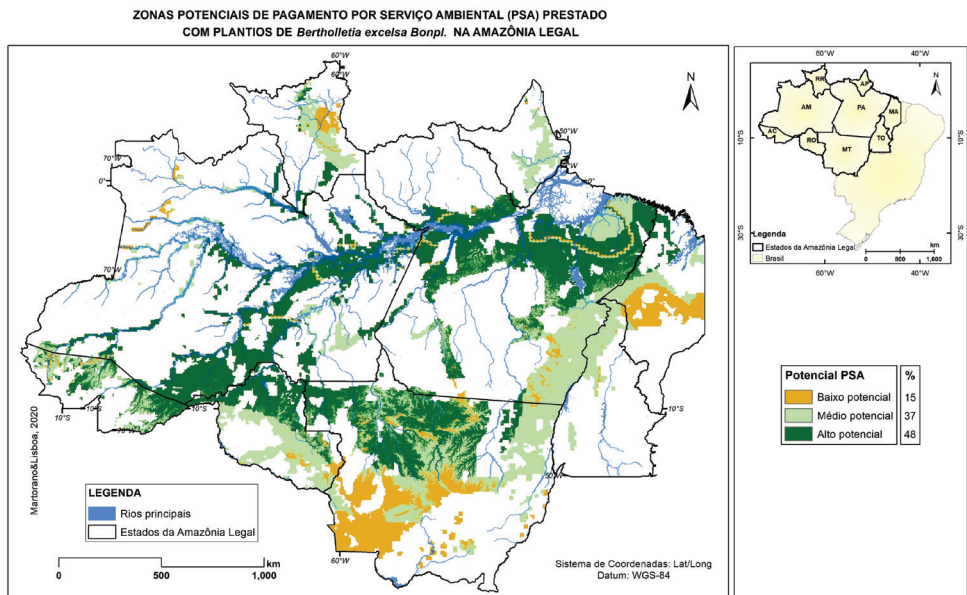
B





amostral dos pontos de coleta a campo não fizeram parte dessa análise, mas são variáveis que possuem importância na biogeografia da espécie, apesar de não estarem no escopo deste capítulo.

Assim sendo, após a análise das contribuições por variável topoclimáticas nas áreas de muito alta e alta fragilidade pelo potencial erosivo das chuvas nas áreas antropizadas, apresenta-se o mapa indicando as zonas com alto, médio e baixo potencial para serem incluídas em programas de pagamento por serviços ambientais (PSA) a partir da inclusão de plantios de castanheira-da-amazônia como estratégia de restauração em áreas degradadas ou em vias de degradação na Amazônia Legal (Figura 16). Nota-se que 48% das áreas antropizadas na Amazônia apresentam alto potencial para serem incluídas em programas de PSA, caso os produtores rurais, silvicultores e grandes empreendedores adotem estratégia conservacionistas que incluam essa espécie nativa da Amazônia, incluída na lista do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2022) de extinção. Mesmo nas áreas com médio potencial, que totalizam 37%, outras variáveis devem ser consideradas para subsidiar a tomada de decisão, além das condições topoclimáticas, para garantir tanto a restauração



**Figura 16.** Zonas potenciais de pagamento por serviços ambientais (PSA) prestados com plantios de *Bertholletia excelsa*, na Amazônia Legal.

da cobertura vegetal quanto a restauração funcional visando à manutenção da conectividade ecológica nessas áreas de médio potencial.

**Tabela 1.** Exemplos de serviços ecossistêmicos (SE) prestados pela castanha-da-amazônia.

<b>Categorização por serviços ecossistêmicos</b>		
<b>SE Provisão</b>		
<b>Tipo de serviço</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Produtos/biomassa/ água/material genético	Produtos oriundos da castanha-da-amazônia	Flores/frutos/ ouriço/folhas/madeira/
	Animais que possuem em sua dieta a castanha-da-amazônia	Roedores/primatas/araras/morcegos
	Alimento humano	Amêndoas/sucos/farinhas/doces/biscoitos
	Fonte de selênio	
<b>SE Regulação</b>		
Qualidade do ar/conforto térmico/fonte de alimento aos polinizadores e animais silvestres e microrganismos/ qualidade do solo/redução de patógenos	Liberação de compostos químicos e sua assimilação pela atmosfera (fonte ou dreno)/regulação hídrica e do clima/ciclagem de nutrientes no solo/atenuação do processo erosivo das chuvas/alta capacidade de conservação dos frutos nos ouriços como estratégia de manutenção da espécie	Atenuação de calor, fornecimento de semente/flores/voláteis/biomassa/ estoques de carbono/ manutenção de espécies de abelhas
<b>SE Cultural</b>		
Recreação/colheita/ ecoturismo/locais de realizações de eventos de coleta em momentos culturais/ educacionais/de transferência de conhecimento tradicional e em ritos religiosos	Oportunidade de convivência social/propósitos intelectuais, de desenvolvimento, culturais, artísticos, de design e de inovação	Socializar e compartilhar conhecimentos durante o período de colheita em anos safras/caminhadas na floresta/ contemplação e monitoramento de polinizadores/pássaros/ roedores/tecnologias e pesquisas
<b>SE Suporte</b>		
Habitat/ciclagem de água/ atenuação de calor/ contribuição para resiliência de ecossistemas/ ciclagem de nutrientes/formação do solo/ produtividade primária	Serviços necessários à produção de outros serviços/ Ocorrências, manutenção e dispersão da espécie	Áreas de ocorrências da espécie/suporte para determinadas espécies de flora e fauna/resíduos e matéria prima para uso como fonte de energia em cadeias produtivas e artesanatos



## Considerações finais

As análises topoclimáticas apontam que a castanheiras-da-amazônia precisa ser incluída no levantamento de espécies em estratégias de restauração florestal em áreas impactadas pela ação humana, principalmente porque grande parte está associada a políticas públicas como a integração da Amazônia, no governo militar. Se houve essa perda de serviços ecossistêmicos prestados aos antigos castanhais, então, nada mais justo que utilizar os recursos de programas de pagamento por serviços ambientais (PSA) para recomprar áreas em vias de degradação, com a inclusão dessa importante espécie nativa da Amazônia no rol das ameaçadas de extinção.

As castanheiras são sensíveis à altas temperaturas, que comprometem o seu potencial produtivo. Portanto, é estratégico adotar ações de restauração em áreas com alto potencial para receber incentivo em programas como o de PSA, reduzindo a pegada de carbono pela supressão, entre 1980 a 2008, de cerca de 48% dos indivíduos identificados pelo Projeto Radam Brasil que demandam ações de restauração florestal. As contribuições desta pesquisa, indicando zonas com alto potencial para inclusão das castanheiras em plantios florestais, visa subsidiar os tomadores de decisão no uso eficiente e eficaz de recursos de PSA na Amazônia brasileira.

## Referências

- ALEIXO, I.; NORRIS, D.; HEMERIK, L.; BARBOSA, A.; PRATA, E.; COSTA, F.; POORTER, L. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. **Nature Climate Change**, v. 9, p. 384-388, May 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0458-0>.
- ANDRADE, D.; ROMEIRO, A. **Capital natural, serviços ecossistêmicos, e sistemas econômicos:** rumo a uma economia dos ecossistemas. Campinas: IE/Unicamp, 2009. 24 p. (IE/Unicamp. Texto para discussão, 159).
- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap 30, p. 335-346.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T. Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 525-547, set. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032006000300008>.

ARRAUT, J. R.; NOBRE, C.; BARBOSA, H. M. J.; OBREGON, G.; MARENGO, J. A. Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. **Journal of Climate**, v. 25, p. 543-556, Jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1>.

ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSON, B. O.; LEVIN, S.; MÅLER, K.-G.; PERRINGS, C.; PIMENTEL. Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Science**, v. 268, n. 5210, p. 520–521, Apr. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.268.5210.520>.

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R. de; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 185-196, jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200008>.

BENNET, E. M.; PETERSON, G. D.; LEVITT, E. A. Looking to the future of ecosystem services. **Ecosystems**, v. 8, p. 125-132, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0078-y>.

BRANDO, P.; MACEDO, M.; SILVÉRIO, D.; RATTIS, L.; PAOLUCCI, L.; ALENCAR, A.; AMORIM, C. Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. **Flora**, v. 168, 151609, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151609>.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Define conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios de implantação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), institui o Cadastro Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (CNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 14 jan. 2021, Seção 1, p. 7. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>. Acesso em: 25 ago. 2021.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil 1973-1983. Rio de Janeiro, 1983. (Levantamento de recursos naturais, v. 1-23).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil. **Folha SA.21 Santarém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1976. p. 309-414. (Levantamento de recursos naturais, 10).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil. **Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974a. p. 3-119. (Levantamento de recursos naturais, 4).

RASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil. **Folha SA.22 Belém**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1974b. p. 3-93. (Levantamento de recursos naturais, 5).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM Brasil. **Folha SB.21 Tapajós**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. p. 287-384. (Levantamento de recursos naturais, 7).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 148, de 7 de junho de 2022. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 8 jun. 2022, Seção 1, p. 74. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 25 mar. 2022.

BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; MALHI, Y.; LEWIS, L. S.; VÁSQUEZ MARTINEZ, R.; ALEXIADES, M.; ALVAREZ DAVILA, E.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; ANDRADE, A.; ARAGAO, L. E. O. C.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARETS, E. J. M. M.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BANKI, O.; BARALOTO, C.; BARROSO, J.; BONAL, D.; BOOT, R. G. A.; CAMARGO, J. L. C.; CASTILHO, C. V. de; CHAMA, V.; CHAO, K. J.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO VALVERDE, F.; COSTA, L. da; OLIVEIRA, E. de; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; FAUSET, S.; FORSTHOFER, M.; GALBRAITH, D.; GROOT, N.; HÉRAULT, B.; HIGUCHI, N.; HONORIO CORONADO, E. N.; KEELING, H.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; LICONA, J.; MAGNUSSEN, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MENDOZA, C.; NEILL, D.; NOGUEIRA, E. M.; NUNEZ, P.; PALLQUI CAMACHO, N. C.; PARADA, A.; PARDO-MOLINA, G.; PEACOCK, J.; PEÑA-CLAROS, M.; PICKAVANCE, G. C.; PITMAN, N.; POORTER, L.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; RAMIREZ, F.; RAMIREZ-ANGULO, H.; RESTREPO, Z.; ROOPSIND, A.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R.; SCHWARZ, M.; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; STROPP, J.; TALBOT, J.; TER STEEGE, H.; TERAN-AGUILAR, J.; TERBORGH, J.; THOMAS-CAESAR, R.; TOLEDO, M.; TORELLO-RAVENTOS, M.; UMETSU, R. K.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; VAN DER HOUT, P.; GUIMARÃES VIEIRA, I. C.; VIEIRA, S. A.; VILANOVA, E.; VOS, V. A.; ZAGT, R. J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n.7543, p. 344-348, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14283>.

CAMARGO, F. F.; COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; ROA, R. A. R.; RODRIGUES, N. B.; SANTOS, L. V.; FREITAS, A. C. A. Variabilidade genética para caracteres morfométricos de matrizes de castanha-do-brasil da Amazônia Matogrossense. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 4, p. 705-710, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000400010>.

CAMARGO, P. B.; SALOMÃO, R. P.; TRUMBORE, S.; MARTINELLI, I. A. How old are large Brazil-nut trees (*Bertholletia excelsa*) in the Amazon? **Scientia Agricola**, v. 51, n. 2, p. 389-391, ago. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000200028>.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P. Ancient trees in Amazonia. **Nature**, v. 391, p.135-136, Jan. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1038/34325>.

COSLOVSKY, S. **Economic development without pre-requisites**: how Bolivian firms met strict food safety standards and dominated the global Brazil-nut market. New York, NY: NYU Wagner School, 2013. 56 p. (NYU Wagner research paper). DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2350942>.

COSTANZA, R. Ecosystem health and ecological engineering. **Ecological Engineering**, v. 45, p. 24–29, Aug. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.023>.

COSTANZA, R. Social goals and the valuation of ecosystem services. **Ecosystems**, v. 3, p. 4-10, Jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100210000002>.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R. S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387, 253-260, Jan. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. **Ecological Economics**, v. 25, n. 1, p. 67-72, Apr. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00019-6).

CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; PASINATO, A.; SILVA, A. A. G.; ASSAD, E. D.; ROSA, C. M. **El Niño/La Niña**: oscilação sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Plantio Direto**, v. 20, n. 121, p. 18-22, jan./fev. 2011.

DALY, H. E. **Beyond growth**: the economics of sustainable development. Boston: Beacon Press, 1996.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics**: principles and applications. Washington, DC: Island Press, 2004. p. 982-986. (Ecological applications, v. 14).

DÍAZ, S.; DEMISSEW, S.; CARABIAS, J.; JOLY, C.; LONSDALE, M.; ASH, N.; LARIGAUDERIE, A.; ADHIKARI, J. R.; ARICO, S.; BÁLDI, A.; BARTUSKA, A.; BASTE, I. A.; BILGIN, A.; BRONDIZIO, E.; CHAN, K. M.; FIGUEROA, V. E.; DURAIAPPAH, A.; FISCHER, M.; HILL, R.; KOETZ, T.; LEADLEY, P.; LYVER, P.; MACE, G. M.; MARTIN-LOPEZ, B.; OKUMURA, M.; PACHECO, D.; PASCUAL, U.; PÉREZ, E. S.; REYERS, B.; ROTH, E.; SAITO, O.; SCHOLES, R. J.; SHARMA, N.; TALLIS, H.; THAMAN, R.; WATSON, R.; YAHARA, T.; HAMID, Z. A.; AKOSIM, C.; AL-HAFEDH, Y.; ALLAHVERDIYEV, R.; AMANKWAH, E.; ASAH, S. T.; ASFAW, Z.; BARTUS, G.; BROOKS, L. A.; CAILLAUX, J.; DALLE, G.; DARNAEDI, D.; DRIVER, A.; ERPUL, G.; ESCOBAR-EYZAGUIRRE, P.; FAILLER, P.; FOUDA, A. M. M.; FU, B.; GUNDIMEDA, H.; HASHIMOTO, S.; HOMER, F.; LAVOREL, S.; LICHTENSTEIN, G.; MALA, W. A.; MANDIVENYI, W.; MATCZAK, P.; MBIZVO, C.; MEHRDADI, M.; METZGER, J. P.; MIKISSA, J. B.; MOLLER, H.; MOONEY, H. A.; MUMBY, P.; NAGENDRA, H.; NESSHOVER, C.; OTENG-YEBOAH, A. A.; PATAKI, G.; ROUÉ, M.; RUBIS, J.; SCHULTZ, M.; SMITH, P.; SUMAILA, R.; TAKEUCHI, K.; THOMAS, S.; VERMA, M.; YEO-CHANG, Y.; ZLATANOVA, D. The IPBES conceptual framework: connecting nature and people. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 14, p. 1-16, June 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>.

ELLISON, D.; MORRIS, C. E.; LOCATELLI, B.; SHEIL, D.; COHEN, J.; MURDIYARSO, D.; GUTIERREZ, V.; NOORDWIJK, M. V.; CREED, I.; POKORNY, J.; GAVEAU, D.; SPRACKLEN, D. V.; TOBELLA, A. B.; ILSTEDT, U.; TEULING, A. J.; GEBREHIWOT S. G.; SANDS, D. C.; MUYST, B.; VERBIST, B.; SPRINGGAY, E.; SUGANDI, Y.; SULLIVAN, C. A. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 51–61, Mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>.

ENT, R. van der; WANG-ERLANDSSON, L.; KEYS, P. W.; SAVENIJE, H. H. G. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle-part 2: moisture recycling. **Earth Systems Dynamic**, v. 5, n. 2, p. 471-489, Dec. 2014. DOI: [10.5194/esd-5-471-2014](https://doi.org/10.5194/esd-5-471-2014).

ESPINOZA, J. C.; MARENGO, J. A.; RONCHAIL, J.; CARPIO, J. M.; FLORES, L. N.; GUYOT, J. L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, 124007, Dec. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124007>.

ESQUIVEL-MUELBERT, A.; BAKER, T. R.; DEXTER, K. G.; LEWIS, S. L.; TER STEEGE, H.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; PHILLIPS, O. L. Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. **Ecography**, v. 40, n. 5, p. 618–629, May 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.01904>.

ESQUIVEL-MUELBERT, A.; GALBRAITH, D.; DEXTER, K. G.; BAKER, T. R.; MEIR, P. ROWLAND, L.; COSTA, A. C. L. da; NEPSTAD, D.; PHILLIPS, O. L. Biogeographic distributions of neotropical trees reflect their directly measured drought tolerances. **Scientific Reports**, v. 7, article number 8334, Aug. 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08105-8>.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, June 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>.

FEARNSIDE, P.; LAURANCE, W. Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 982-986, Aug. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1890/03-5225>.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 643-53, Jan. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>.

FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; DE FRIES, R. T.; GIBBS, H. K.; HOWARD, E. A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25-32, Feb. 2007. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[25:ARFDAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[25:ARFDAL]2.0.CO;2).

FRIEDMAN, B. **The moral consequences of economic growth**. New York, NY: Alfred A. Knopf, 2005.

GIANNINI, A.; CHIANG, J. C. H.; CANE, M. A.; KUSHNIR, Y.; SEAGER, R. The ENSO Teleconnection to the tropical Atlantic Ocean: contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the tropical Americas. **Journal of Climate**, v.14, n. 24, p. 4530–4544, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C4530:TETTTT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014%3C4530:TETTTT%3E2.0.CO;2).

HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 9. p. 1283–1298, Nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008>.

IDOL, T.; HAGGAR, J.; COX, L. Ecosystem services from smallholder forestry and agroforestry in the tropics. In: CAMPBELL, W. B.; ORTÍZ, S. L. **Integrating agriculture, conservation and ecotourism: examples from the field**. Nova York: Springer, 2011.

JOLY C. A.; SCARANO F. R.; SEIXAS C. S.; METZGER J. P.; OMETTO J. P.; BUSTAMANTE M. M. C.; PADGURSCHI M. C. G.; PIRES A. P. F.; CASTRO, P. F. D.; GADDA T.; TOLEDO P. (ed.). **1º Diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos**. São Carlos, SP: Cubo, São Carlos, 2019. 178 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/978-85-60064-88-5>.

KUZNETS, S. Economic growth and income inequality. **The American Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 1-28, Mar. 1955. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1811581>. Acesso em: 15 jan. 2021.

LAURANCE, W. F.; OLIVEIRA, A. A.; LAURANCE, S. G.; CONDIT, R.; NASCIMENTO, H. E. M.; SANCHEZ-THORIN, A. C.; LOVEJOY, T. E.; ANDRADE, A.; D'ANGELO, S.; RIBEIRO, J. E.; DICK, C. W. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. **Nature**, v. 428, p.171–175, Mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature02383>.

LAURANCE, W. F.; PERES, C. A. **Emerging threats to tropical forests**. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, 2006. 563 p.

LEAN, J.; BUNTON, C. B.; NOBRE, C. A.; ROWNTREE, P. R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L (ed.) **Amazonian deforestation and climate**. New York, NY: John Wiley, 1996. p. 549-576.

LEVIN, S. A. Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. **Ecosystems**, v. 1, p. 431-436, Sept. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s100219900037>.

MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, C. M.; THONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon Region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p.1-21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.

- MARQUES, J. F.; COMUNE, A. E. A Teoria neoclássica e a valoração ambiental. In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.
- MARTORANO, L. G.; GUEDES, M.; WADT, L. H. O.; REALE, F.; TOURNE, D. M. C.; MARTORANO, P.; SILVA, K. Ecosystem services provided by *Bertholletia excelsa* in the Brazilian Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, e201902043, p. 533, 2019. Special issue. Abstracts of the XXV IUFRO World Congress, 2019.
- MARTORANO, L. G.; LISBOA, L. S.; VILLA, P. M.; MORAES, J. R. S. C. Fragilidade das terras pelo processo erosivo das chuvas em áreas antrópicas e declivosas na Amazônia Legal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Belém, PA. **Amazônia e seus solos: peculiaridades e potencialidades: anais**. Belém, PA: SBCS, 2017. V. 36.
- MARTORANO, L. G.; MORAES, J. R. da S. C. de; SILVA, L. K. X.; FERNANDES, P. C. C.; AMARAL JÚNIOR, J. M. do; LISBOA, L. S.; NEVES, K. A. L.; PACHECO, A.; BELDINI, T. P.; APARECIDO, L. E. de O.; SILVA, W. C. da; GODINHO, V. de P. C. Agricultural and livestock production in the Amazon: a reflection on the necessity of adoption of integrated production strategies in the western region of the state of Pará. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 8, p. 1102-1109, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.21.15.08.p2908>.
- MAUÉS, M. M. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Lecythidaceae) in Eastern Amazonia. In: KEVAN, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. (ed.). **Pollination bees: the conservation link between agriculture and nature**. Brasília, DF: MMA, 2002. p. 245-254.
- MCDOWELL, N.; ALLEN, C. D.; ANDERSON-TEIXEIRA, K.; BRANDO, P.; BRIENEN, R.; CHAMBERS, J.; CHRISTOFFERSEN, B.; DAVIES, S.; DOUGHTY, C.; DUQUE, A.; ESPIRITO-SANTO, F.; FISHER, R.; FONTES, C. G.; GALBRAITH, D.; GOODSMAN, D.; GROSSIORD, C.; HARTMANN, H.; HOLM, J.; JOHNSON, D. J.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KOVEN, C.; KUEPPERS, L.; KUMAGAI, T.; MALHI, Y.; MCMAHON, S. M.; MENCUCCINI, M.; MEIR, P.; MOORCROFT, P.; MULLER-LANDAU, H. C.; PHILLIPS, O. L.; POWELL, T.; SIERRA, C. A.; SPERRY, J.; WARREN, J.; XU, C.; XU, X. Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. **New Phytologist**, v. 219, n. 3, p. 851–869, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15027>.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Washington, DC: Island Press, 2003.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p.
- MORAES, J. R. S. C.; ROLIM, G. S.; MARTORANO, L. G.; APARECIDO, L. E. O.; BISPO, R. C.; VALERIANO, T. T. B.; ESTEVES, J. T. Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, p. 803–816, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03231-2>.
- MORI, S. A.; PRANCE, G. T. **Taxonomy, ecology and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Lecythidaceae)**. New York: New York Botanical Garden: Springer, 1990. p. 130-150. (Advances in Economy Botany, v. 8).
- MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 22, p. 574-588, jan./jun. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55109>.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília, DF: Editora UnB, 2007.

MÜLLER, C. H.; RODRIGUES, I. A.; MÜLLER, A. A.; MÜLLER, N. R. M. **Castanha-do-Brasil: resultados de pesquisa**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1980. 25 p. (EMBRAPA-CPATU. Miscelânea, 2). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/378091>. Acesso em: 24 mar. 2021.

MÜLLER, F.; HOFFMANN-KROLL, R.; WIGGERING, Y.H. Indicating ecosystem integrity - theoretical concepts and environmental requirements. **Ecological Modelling**, v. 130, n. 1-3, p. 13–23, June 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00210-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00210-6).

NELSON, B. W.; ABSY, M. L.; BARBOSA, E. M.; PRANCE, G. T. Observations on flower visitors to *Bertholletia excelsa* H. & B. K. and *Couratari tenuicarpa* A. S. SM (Lecythidaceae). **Acta Amazonica**, v. 15, p. 225-234, 1985. Suplemento. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921985155234>.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L. S.; CASTILLA-RUBIO, J. C.; SILVA, J. S.; CARDOSO, M. Land-use and climate change risks and the need of a novel sustainable development paradigm. **PNAS**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>.

PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. **Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. Sao Paulo: SMA/CBRN, 2013. 336 p.

PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P. E.; KURZ, W. A.; PHILLIPS, O. L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; JACKSON, R. B.; PACALA, S. W.; MCGUIRE, A. D.; PIAO, S.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, July 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F.; IVO, I. O. 2020. Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, e24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190152>.

PEDROZO, C. A.; TONINI, H.; RESENDE, M. D. V.; JORDÃO, S. M. S. Repeatability of fruits and seeds production and selection of brazil nut genotypes in native populations in Roraima. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 863-871, out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500009>.

PERES, C. A.; BAIDER, C. Seed dispersal, spatial distribution and population structure of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in Southeastern Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 13, n. 4, p. 595-616, July 1997. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010749>.

PERES, C. A.; BAIDER, C.; ZUIDEMA, P. A.; WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D.A.P.; SALOMÃO, R. P.; SIMÕES, L. L.; FRNCIOSI, E. R. N.; VALVERDE, F. C.; GRIBEL, R.; SHEPARD JR., G. H.; KANASHIRO, M.; COVENTRY, P.; YU, D. W.; WATKINSON, A. R.; FRECKLETON, R. P. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science**, v. 302, n. 5635, p. 2112-2114, Dec. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1091698>.

PIRES, J. M. Aspectos ecológicos da floresta amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORESTA TROPICAIS, 2., 1976, Mossoró, RN. **Anais...** Mossoró: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1976. p. 235-287.

REALE, F. C. G. **Hidrelétricas na Amazônia: o caso de Cachoeira Porteira, Oriximiná-Pa**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.



ROMEIRO, A. R. **Cultural and institutional constrains on ecological learning under uncertainty**. Campinas: IE/Unicamp, 2002. 16 p. (IE/UNICAMP. Texto para discussão, 110).

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J. R. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1250-1258, Oct. 1979. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR015i005p01250>.

SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 11-25, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v4i1.667>.

SALOMÃO, R. P. Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. ("Castanha") nas regiões de Carajás e Marabá, estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 7, p. 47-68, 1991.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C. A.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, L17709, Sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, p. 195-209, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0637-7>.

SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 39, p. 455-464, Aug. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9412-0>.

SHEPARD JUNIOR, G. H.; RAMIREZ, H. "Made in Brazil": human dispersal of the Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) in Ancient Amazonia. **Economy Botany**, v. 65, p. 44-65, Feb. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12231-011-9151-6>.

SILVA, C. S.; SILVA, L. M.; WADT, L. H. O.; MIQUELONI, D. P.; SILVA, K. E.; PEREIRA, M. G. Soil classes and properties explain the occurrence and fruit production of Brazil nut. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0200188, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210001>.

SOUSA, J. M. de; CANDIDO, L. A.; SILVA, J. T. da; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; MANZI, A. O.; SOUZA, A. F. de; SOUZA, E. B. de; VIEIRA, S. de O. Evaluation of the WRF ability to represent the precipitation in the Amazon using a different scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 2, p. 255-273, abr./jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863340029>.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, p. 1-20, jan. 2003. Disponível em: [http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/artigo\\_pentad\\_jan03.pdf](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/artigo_pentad_jan03.pdf). Acesso em: 15 jan. 2021.

STRAND, J.; SOARES-FILHO, B.; COSTA, M. H.; OLIVEIRA, U.; RIBEIRO, S. C.; PIRES, G.F.; OLIVEIRA, A.; RAJÃO, R.; MAY, P.; HOFF, R. van der; SIIKAMÄKI, J.; MOTTA, R.S. da; TOMAN, M. Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's Ecosystem Services. **Nature Sustainability**, v. 1, p. 657-664, Nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0175-0>.

TABOSA, F. J. S.; AMARAL FILHO, J.; GOMIDE, U. S. Reexaminando a Curva De Kuznets : evidências para O Brasil no período de 1981-2009. **REDES: Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 21, n. 2, p. 245-266, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17058/redes.v21i2.5246>.



TANSLEY, A.G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. **Ecology**, v. 16, n. 3, p. 284-307, July 1935. DOI: <https://doi.org/10.2307/1930070>.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, J. F.; MONTEAGUDO, A.; NUÑEZ VARGAS, P.; MONTERO, J. C.; FELDSPAUCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B.-H.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; CÁRDENAS LÓPEZ, D.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. de A.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLAORTA, R.; DIAZ, P. R. S.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A. J. D.; FERNANDEZ PIEDADE, M. T.; ARAUJO, MURAKAMI, A.; ARROYO, L.; GRIBEL, R.; FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD C.; G. A.; BAKER, T. R.; CERON, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; LIMA FILHO, D. de A.; JØRGENSEN, P. M.; FUENTES, A.; SCHÖNGARTH, J.; VALVERDE, F. C.; DI FIORE, A.; JIMENEZ, E. M.; MORA, M. C. P.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; ANDEL, T. R. van; HILDEBRAND, P. von; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PIETRO, A.; RUDAS, A.; RUSCHELL, A. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHULTZ, A. C.; GONZALES, T.; NASCIMENTO, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, I.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; UMAÑA MEDINA, M. N.; HEIJDEN, G. J. van der; VELA, C. I. A.; TORRE, E. V.; VRIESENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; GIRALDO, L. E. U.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; CUENCA, W. P.; PAULETTO, D.; SANDOVAL, E. V.; GAMARRA, L. V.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, 1243092, Oct. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1243092>.

THE ECONOMICS of Ecosystems and Biodiversity: an interim report. United Kingdom: Cambridge, 2008. 70 p. Disponível em: [https://www.teebweb.org/media/2008/05/TEEB-Interim-Report\\_English.pdf](https://www.teebweb.org/media/2008/05/TEEB-Interim-Report_English.pdf).

The ULTIMATE infrared handbook for R&D professionals: a resource guide for using infrared in the research and development industry. Teledyne FLIR Systems, AB, 2012.

TOMAS, E.; CAICEDO, C. A.; MCMICHAEL, C. H.; CORVERA, R.; LOO, J. Uncovering spatial patterns in the natural and human history of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) across the Amazon basin. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 8, p. 1367- 1382, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.12540>.

TOURNE, D. C. M.; BALLESTER, M. V. R.; JAMES, P. M. A.; MARTORANO, L. G.; GUEDES, M. C.; THOMAS, E. Strategies to optimize modeling habitat suitability of *Bertholletia excelsa* in the Pan-Amazonia. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 22, p. 12623-12638, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5726>.

TRENBERTH, K. E. Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation. **Journal of Climate**, v. 12, n. 5, p. 1368-1381, May 1999. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012%3C1368:AMRROA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012%3C1368:AMRROA%3E2.0.CO;2).

TUCKHAUGAASEN, J. M. T.; HAUGAASEN, T.; PERES, C. A.; GRIBEL, R.; WEGGE, P. Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding rodents in a central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 26, n. 3, p. 251-262, May 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467410000027>.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRAO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, v. 19, n. 1, p. 209-220, jan./mar. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v19i1.1494>.

VERBOOM, J.; KRUIJT, B.; SOBA, M. P.; BAVECO, H.; EUPEN, M. van; RANDOW, C. von; PARR, T.; THONICKE, K.; JONES, L.; BOIT, A.; BALVANERA, P.; ABARCA, E. L.; HUNTINGFORD, C.; BLYTH, E.; CISOWSKA, I.; MARTORANO, L.; TOLEDO, M.; PURSE, B.; MASANTE, D.; PENA CLAROS, M. Exploring causes, risks, and consequences for ecosystem services of tipping points in Latin American forests - the role of biodiversity. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "OUR COMMON FUTURE UNDER CLIMATE CHANGE", 2015, Paris. **Abstract book**. [S. l.: s. n.], 2015.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 16, n. 5, p. 882-892, May 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A. Domesticação e melhoramento da castanha. In: BORÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R. (ed.). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Viçosa, MG, 2009. V. 1, p. 297-318.

WHITFORD, W. G.; RAPPORT, D. J.; SOYZA, A. G. Using resistance and resilience measurements for 'fitness' tests in ecosystem health. **Journal of Environmental Management**, v. 57, n. 1, p. 21-29, Sept. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0287>.

WODA, C. Indicadores para serviços ambientais em sistemas agroflorestais: um estudo de caso no nordeste paraense. In: PORRO, R. (ed.). **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

YORK, R.; ROSA, E. A.; DIETZ, T. Footprints on the Earth: the environmental consequences of modernity. **American Sociological Review**, v. 68, n. 2, p. 279-300, 2003. DOI: <https://psycnet.apa.org/doi/10.2307/1519769>.

ZHU, Y.; NEWELL, R. A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 3, p. 725-735, Mar. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1998\)126%3C0725:APAFMF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126%3C0725:APAFMF%3E2.0.CO;2).

ZUIDEMA, P. A. **Demography and management of the nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Riberalta, Bolivia: PROMAB, 2003. (Scientific series, 6).