



Impacto dos agrotóxicos na bacia amazônica: uma revisão multidisciplinar

Pablo Ochoa^{1*}; Maria Gabriella da Silva Araújo²; Ana Claudia Batista²; Fátima A. Arcanjo³; Mario Rique Fernandes⁴; Ulysses Madureira Maia⁵; Isabela Maria Souza Silva²

¹Departamento de Ciências Biológicas e Agrárias, Universidade Técnica Particular de Loja (UTPL), Equador – paochoa@utpl.edu.ec

²Laboratório de Ecologia Isotópica – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (CENA/USP), Brasil – gabriella.araujo@usp.br, anaclaudiabatista89@gmail.com, isabela_souza@usp.br

³Laboratório de Biodiversidade e Restauração de Ecossistemas, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Universidade Estadual de Londrina (LABRE-UEL), Brasil – fatimaa.arcanjo@gmail.com

⁴Núcleo de Estudos da Amazônia Indígena, Universidade Federal do Amazonas (Neai/UFAM) – riquemario@gmail.com

⁵Instituto Tecnológico Vale, Belém, Brasil – ulymm86@hotmail.com

*Autor para correspondência: Pablo Ochoa – paochoa@utpl.edu.ec

RESUMO

Os agrotóxicos são produtos químicos usados na agricultura para controlar pragas e doenças nas culturas. No entanto, seu uso excessivo e pouco controlado pode ter graves consequências à saúde das pessoas e do ambiente. Esta revisão analisou o uso de agrotóxicos na bacia do rio Amazonas, considerando seu impacto socioeconômico na saúde da população, na biodiversidade regional, na disponibilidade do solo e nos recursos hídricos. Para este fim, foram consultadas as bases de dados científicos Scopus e SciELO para recopilar a literatura relevante, incluindo as publicações dos países que integram a bacia, também analisando a distribuição temporal das informações. Os resultados mostram o aumento substancial da investigação científica realizada nas últimas décadas sobre o uso de agrotóxicos na bacia amazônica. O estudo descreve o comprometimento no que tange à perda do bosque natural e aumento da fronteira agropecuária, principalmente nos últimos anos. Além disso, há diminuição da biodiversidade regional, que afeta espécies animais cruciais que contribuem para o equilíbrio ecológico ao oferecerem serviços ecossistêmicos como polinização e dispersão de sementes. Finalmente, é descrito um estudo de caso que mostra um modelo agroecológico bem-sucedido, enfatizando a necessidade urgente de medidas de controle para reduzir o uso de agrotóxicos em toda a bacia amazônica. Essas medidas são vitais para garantir a saúde humana e ambiental. Isso exige a implementação de cuidados e políticas que promovam abordagens sustentáveis por parte dos agricultores e a conscientização pública sobre os riscos associados ao uso indiscriminado de agrotóxicos e a importância do consumo responsável de alimentos.

Palavras-chave: desmatamento, monoculturas, uso de agrotóxicos, saúde humana e ambiental, bioeconomia, bacia amazônica.

Introdução

A bacia amazônica é uma região rica em biodiversidade, abrigando milhares de espécies de flora e fauna (Nobre *et al.* 2021). Além disso, é um dos três principais centros de convecção atmosférica profunda, inserido na zona de convergência equatorial (Reis *et al.* 2022). Apesar de sua importância global, o desmatamento aumentou aproximadamente 30% entre 2018 e 2019. Em 2020, houve novamente fortes incêndios florestais que, segundo alguns especialistas, se devem principalmente à grilagem de terras, expansão da fronteira agrícola, pressão dos mercados internacionais, falta de regulamentação e ausência de políticas públicas adequadas, e aos efeitos das mudanças climáticas (Araújo Mascarenhas *et al.* 2020).

A agricultura é uma das principais atividades com incremento nessa bacia desde a chamada “Revolução Verde” (Júnior *et al.* 2022), a qual tem levado à mudança do sistema produtivo diversificado em direção à monocultura, que demanda uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos (Marin *et al.* 2022). Esses produtos químicos são atualmente considerados “essenciais” em práticas agrícolas convencionais e intensivas. Apesar de sua importância para o controle de ervas daninhas, pragas ou doenças, seu uso gera fortes impactos nocivos à saúde humana e à dos ecossistemas (Arévalo-Jaramillo *et al.* 2019; Silva *et al.* 2019).

Alguns países que compõem a bacia amazônica possuem leis que regulam o registro de agrotóxicos, principalmente quanto aos princípios ativos do produto, delimitação do local e cultura onde será utilizado, quantidade, frequência e tempo de uso, práticas de armazenamento e disposição final de resíduos e embalagens (Júnior *et al.* 2022). No entanto, não se sabe como essas leis apoiam o compromisso dos países que compõem a bacia em questões como produção e consumo responsável de alimentos (Ochoa-Cueva *et al.* 2022), que é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização nas Nações Unidas (ONU) (<http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainabledevelopment-goals>).

Somente no Brasil, país com a maior área da bacia amazônica, o consumo de agrotóxicos aumentou nas últimas duas décadas, passando de cerca de 150 mil toneladas no ano 2000 para mais de 600 mil toneladas de ingredientes ativos até o ano de 2019 (Ibama, 2020). Portanto, é necessário revisar as publicações científicas sobre agrotóxicos que vêm sendo realizadas em todos os países que compõem a bacia amazônica. Além disso, é preciso sistematizar as informações obtidas levando-se em conta os anos, os países em que os estudos foram

realizados, bem como as principais abordagens ou temas que foram tratados nessas investigações. Por fim, descrever uma história de sucesso da bacia, a qual pode ser replicada por outras comunidades, localidades ou lavouras. Esta revisão é muito útil para pesquisadores, tomadores de decisão, órgãos de controle e governos locais ou regionais que fazem parte da bacia amazônica. Para tanto, é necessário desenvolver acordos e políticas que contribuam para a redução do uso de agrotóxicos e estimulem o desenvolvimento de alternativas que estejam em harmonia com o meio ambiente.

Materiais e métodos

Para realizar esta revisão sistemática, nós utilizamos o método proposto por Page *et al.* (2021), denominado "PRISMA" (Preferred Reporting Items for Systematic and Meta-Analyses). Esta revisão foi baseada na coleção de artigos científicos que estão disponíveis nos repositórios Scopus (<https://www.scopus.com/>) e SciELO (<https://www.scielo.org/>). As palavras-chave usadas na busca foram: "pesticides" AND "Amazon"; e "Agrotóxicos" E "Amazônia", respectivamente. A última revisão da busca antes da análise dos dados ocorreu em janeiro de 2023.

Área de estudo

A bacia do rio Amazonas inclui um dos locais com maior biodiversidade do planeta, em que se reconhecem oito zonas endêmicas (Rodrigues-Alcântara 2013). Essa área florestal é a maior do planeta, com aproximadamente sete milhões de quilômetros quadrados, que se estende desde a Cordilheira dos Andes até a costa atlântica (Nobre *et al.* 2021). Além disso, a bacia amazônica possui uma cobertura e uso diversificado da terra (Figura 1), os quais sofreram alterações significativas ao longo dos anos. Embora a cobertura florestal natural continue sendo dominante na região, apenas no Brasil (país com maior percentual de área e desmatamento) estima-se uma perda de cerca de 45 milhões de hectares de floresta nativa entre 1985 e 2021, quase 12% da sua área total. O uso da terra agrícola foi o que mais cresceu nesse mesmo período, com quase 244% (MapBiomas). Atualmente, a distribuição territorial do uso agrícola concentra-se na Amazônia oriental, mas gradualmente se expande para o interior.

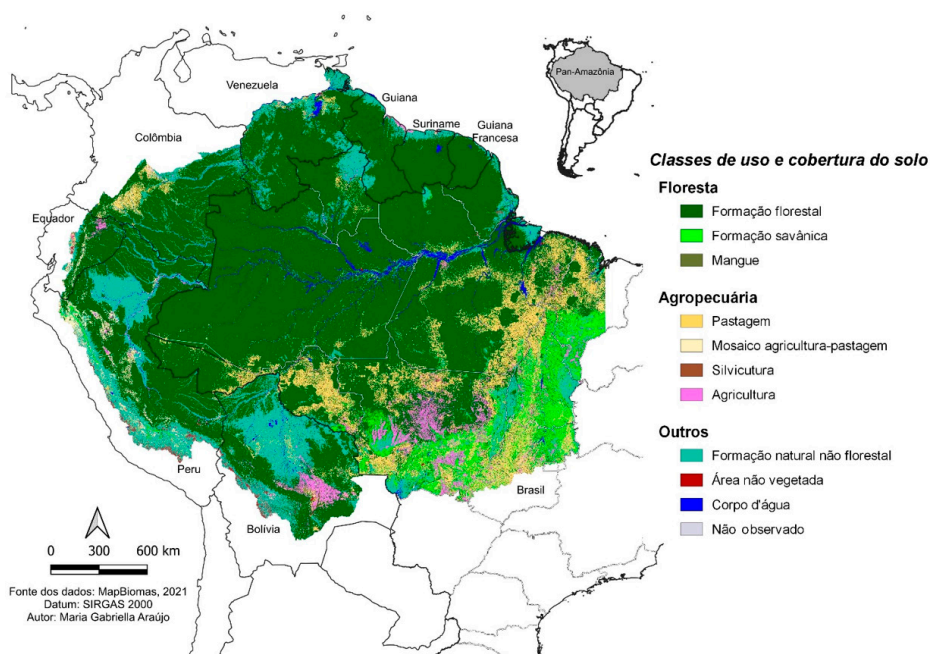


Figura 1 Área de estudo com o mapa de cobertura e uso da terra da bacia amazônica.

Seleção e análise de dados

Os artigos selecionados para posterior análise foram aqueles que atenderam aos seguintes critérios: 1) estudos com o tema principal agrotóxicos; 2) pesquisa realizada na bacia amazônica; 3) artigos publicados em revistas indexadas. Esses três critérios foram avaliados inicialmente no título, resumo e tipo de documento (artigo, revisão, capítulo de livro ou resumo de congresso), para posteriormente revisar o documento completo das investigações cujas informações não foram consistentes nas seções acima.

Para a análise dos dados dos artigos selecionados e revisados, foi gerado um banco de dados com informações como: a) Ano de publicação; b) Tipo de documento (artigo, revisão, capítulo de livro e resumo de congresso); c) País onde foi realizada a pesquisa e que faz parte da bacia amazônica; e d) Impactos dos agrotóxicos, agrupados considerando-se os atributos da sustentabilidade, que se dividem conceitualmente em: econômico, ambiental e sociocultural (Reid *et al.* 2005). Obteve-se, assim, cinco diferentes subtemas, que são: Bioeconomia, Desmatamento e perda da biodiversidade, Saúde humana, Impacto social e Água-solo (recursos).

A linguagem R foi utilizada para a análise do banco de dados na versão 4.2.2. para Windows. Já para a tabulação dos dados foram usados os pacotes "dplyr" e "reshape2" e, para gerar os gráficos, "ggplot2" e "cowplot" (Team Core, R.).

Resultados e discussão

Tendências de publicação ao longo do tempo

De acordo com os resultados obtidos para a bacia amazônica, os primeiros relatórios de publicação sobre o tema do uso de agrotóxicos começaram na década de 1980. Um estudo desenvolvido por Brinkman (1983) descreve o desequilíbrio de nutrientes entre áreas naturais e sistemas agrícolas em que houve interferência humana. Das bases de dados, cerca de 100 artigos foram revisados para analisar a tendência histórica das publicações, tomando o cuidado de detectar os registros que aparecem nas duas bases de dados.

A Figura 2 mostra a distribuição temporal dos artigos científicos sobre agrotóxicos e seus impactos na bacia amazônica. Inicialmente, registram-se artigos da década de 1980, que tratam da caracterização ou descrição do problema, mas, com o tempo, os temas se diversificaram e foram publicados de forma exponencial até a atual década de 2020. Mais de 85% dos estudos registrados nas bases de dados foram publicados nos últimos 15 anos.

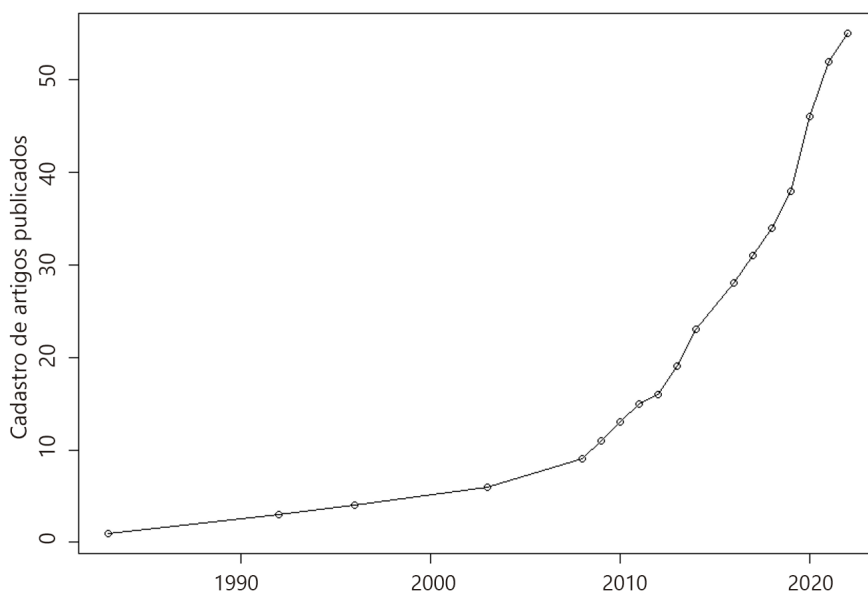


Figura 2 Distribuição temporal de artigos científicos sobre o uso de agrotóxicos na bacia amazônica.

Analisando os dados coletados, podemos afirmar que os artigos sobre o impacto dos agrotóxicos na bacia amazônica ainda são escassos e inéditos, se comparados ao contexto mundial. Ao revisar as mesmas bases de dados com o mesmo tema geral (agrotóxicos), descobriu-se que desde a década de 1940 estão disponíveis estudos, e que esses registros ultrapassam os cem mil artigos. Portanto, apesar da importância mundial do assunto, a capacidade científica instalada nessa bacia ainda é escassa em relação aos esforços de publicação de outras latitudes.

Outra questão importante a destacar é a dificuldade de entrada na floresta amazônica, que inicialmente freou a fragmentação da floresta natural e a expansão da fronteira agrícola. No entanto, estudos mais recentes, como o de Araújo Mascarenhas *et al.* (2020), mencionam que o uso de herbicidas e a implantação de técnicas agrícolas intensivas são práticas comuns atualmente na Amazônia, favorecendo a pilotagem fluvial, aérea e terrestre, mas com fortes impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Vasco *et al.* (2021) mencionam que tem havido mais esforços de pesquisa tentando entender os fatores que impulsionam o desmatamento na Amazônia do que entender por que a população amazônica usa fertilizantes químicos e agrotóxicos em sua produção agrícola.

Tendências das publicações por país que compõe a bacia amazônica

O país que reúne a maior produção científica sobre agrotóxicos é o Brasil, com 81,5%, seguido do Equador, com 11,8% (Figura 3). Curiosamente, ambos os países mostram grande diferença em sua extensão territorial amazônica. O registro de publicações dos demais países que compartilham a bacia amazônica é muito baixo, com 1,3%. A Figura 3 mostra estudos que foram desenvolvidos em mais de um país que faz parte da bacia, nomeados como “Regional”. Cabe destacar que Guiana, Suriname e Venezuela, os três países restantes da bacia, não registram artigos sobre agrotóxicos nessas bases de dados revisadas. Essa análise permitiu detectar uma lacuna de conhecimento sobre o número de artigos publicados, a temporalidade e sua relação com as políticas governamentais implementadas em cada país. Ademais, propõe questões sobre se essas políticas facilitaram ou obstaculizaram os esforços de publicação levantados na seção anterior.

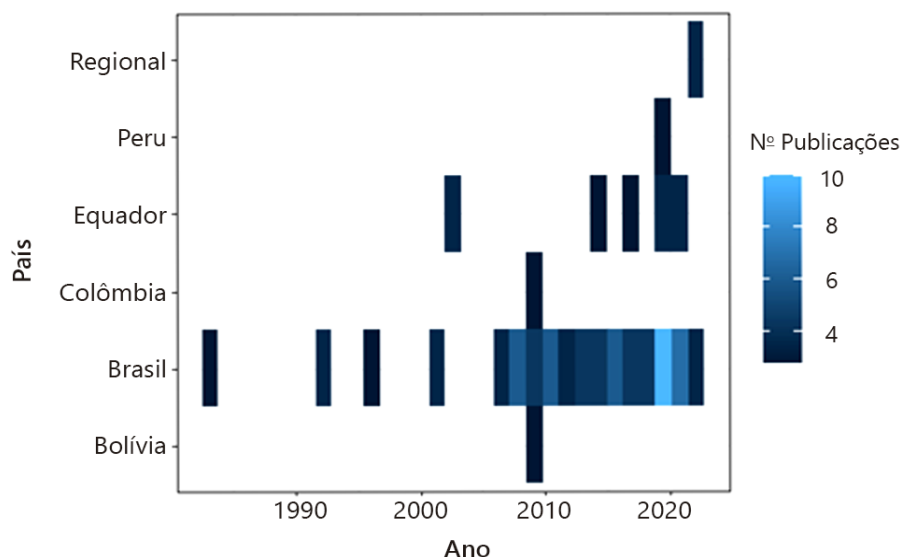


Figura 3 Distribuição temporal dos artigos cadastrados por país que faz parte da bacia amazônica.

Tendências de publicação por temas

A Figura 4 descreve os temas em que foram classificados os impactos gerados pelo uso de agrotóxicos nos atributos de sustentabilidade, que podem afetar os aspectos econômicos, ambientais e/ou socioculturais. Uma análise detalhada desses cinco temas é feita a seguir.

Água-solo (recursos)

Esses dois recursos naturais são o objeto de estudo mais frequente quando se investiga o impacto dos pesticidas sintéticos no meio ambiente (Ochoa-Cueva *et al.* 2022). A revisão deste tópico específico representa mais de 30% de todos os tópicos em análise. A maioria desses estudos foi desenvolvida no Brasil, com exceção de um capítulo de livro e de um artigo que foram direcionados para toda a região sul-americana. Apesar disso, o primeiro registro de pesquisa começou em meados da década de 1990 com um estudo básico desenvolvido por Louter *et al.* (1996). O objetivo de estudo foi identificar microcontaminantes em amostras de águas superficiais.

Os estudos a seguir foram desenvolvidos com diferentes abordagens, partindo do que foi descrito por Winemiller *et al.* (2008), que estudam a diversidade e a ecologia de peixes em riachos de rios tropicais, focando principalmente a produção e o consumo responsável de alimentos, tentando conservar a biodiversidade tropical. No mesmo ano, Römbke *et al.* (2008) avaliaram os riscos de

agrotóxicos em solos da Amazônia central, comparando os possíveis efeitos sobre o solo e a biodiversidade da região com zonas temperadas. Os estudos desenvolvidos por Copatti *et al.* (2009) e Pessoa *et al.* (2010) tiveram por foco a qualidade da água utilizada para a produção agrícola, enquanto Rico *et al.* (2011) avaliaram os efeitos dos agrotóxicos em peixes e invertebrados endêmicos de água doce.

Os estudos posteriores analisaram o impacto dos agrotóxicos na qualidade do solo. Mussy *et al.* (2013) identificaram microrganismos resistentes a um dos agrotóxicos mais utilizados no controle de ervas daninhas e gramíneas folhosas (2,4-D). Enquanto Mendez *et al.* (2016) e Rodrigues *et al.* (2017) estudaram a dinâmica do Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) em solo e sedimentos em uma planície de inundação tropical e em Belém, respectivamente. Ambos os estudos na bacia amazônica encontraram vestígios de DDT, apesar de sua proibição. Outras pesquisas estabelecem comparações entre áreas com cobertura natural e áreas com produção de óleo de palma, demonstrando impactos sobre populações de insetos aquáticos nesses riachos amazônicos (Shimano & Juen 2016).

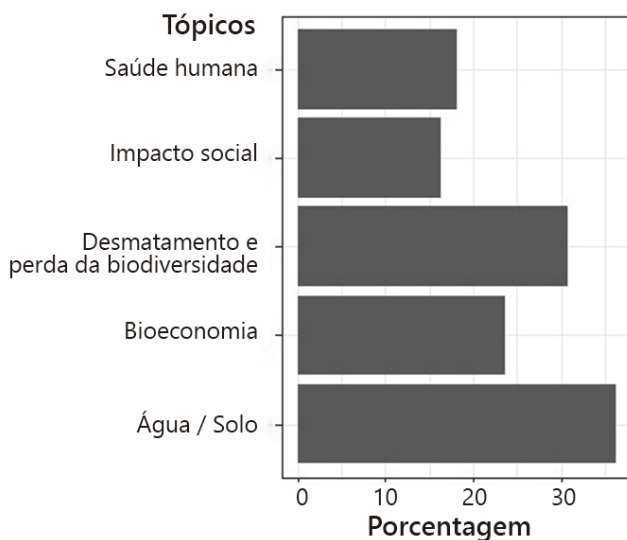


Figura 4 Tendência de artigos publicados por tópicos.

Na análise dos últimos cinco anos, as publicações estão relacionadas à deposição de agrotóxicos na água e nos sedimentos (Neves *et al.* 2018; Viana *et al.* 2019). Todas os estudos a seguir se encontram registrados nessa base de dados e referem-se à avaliação de riscos ecológicos ou ambientais (Guarda *et al.* 2020; Rico *et al.* 2022; Val *et al.* 2022; Viana *et al.* 2020). Esta é uma tendência atual

detectada para toda a região, e o objetivo final desses estudos é encontrar um marco regulatório local, nacional ou, com o apoio de organismos internacionais, globalmente (Daam 2023).

Desmatamento e perda de biodiversidade

O avanço das fronteiras agrícolas é uma das principais causas do desmatamento da floresta amazônica, que possui aproximadamente 7.000.000 km² e abriga cerca de 25% da biodiversidade global (Nobre *et al.* 2021). Foi justamente essa vasta dimensão territorial combinada com um Estado ineficiente na gestão de seus recursos naturais que tornou a bacia amazônica atrativa para muitos empresários do setor agropecuário (Neves *et al.* 2018).

Quando falamos da Amazônia, é importante ressaltar que o cultivo da soja e a pecuária são os carros-chefes do agronegócio, e, para o sucesso do empreendimento, os agrotóxicos se apresentam como o principal produto para o controle de plantas daninhas, pragas e/ou doenças. Ao abordar essa questão, é importante mencionar que o Brasil possui a Lei nº 7802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a fase inicial de produção, sua utilização e a destinação final das embalagens desses produtos químicos (Römbke *et al.* 2008; Waichman *et al.* 2007). No entanto, apesar dessa legislação, o uso e manejo de agrotóxicos continua intensivo e generalizado, e as medidas de mitigação ou alternativas de manejo integrado de pragas (MIP) permanecem mínimas, ou quase inexistentes, em termos de competição com os produtos químicos disponíveis no mercado (Waichman 2012). Infelizmente, na Amazônia brasileira, essa lei se torna pouco eficaz, pois desde 2018 o agronegócio avança exponencialmente, como se não existissem órgãos reguladores ou fiscalizadores das regulamentações ambientais (Júnior *et al.* 2022; Lermen *et al.* 2018).

Segundo pesquisa realizada pela Kleanindustries em 2020, há algum tempo os agrotóxicos são lançados na floresta amazônica por via aérea para tentar burlar a fiscalização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). O método de fumigação aérea com agrotóxicos funciona como uma forma de limpeza de áreas de difícil acesso. Como mencionado anteriormente, esta é uma prática que está em uso desde 2018, e esta forma de desmatamento por envenenamento de árvores ocorre mais lentamente do que por corte raso ou incêndio. Infelizmente, esta prática está ganhando força, porque não pode ser detectada por imagens de satélite em tempo real. Segundo Gonzales (2022), o glifosato e o 2,4-D são os agrotóxicos mais utilizados para envenenar árvores em áreas naturais, e, após sua morte, elas são remo-

vidas mecanicamente, facilitando, assim, o posterior espalhamento de sementes para implantação de lavouras agrícolas.

Glifosato, carbosulfan e 2,4-D foram os agrotóxicos usados na Guerra do Vietnã, onde ainda são relatados casos de malformações congênitas. Segundo a Agência Brasil, esses agrotóxicos foram encontrados em clareiras na região do arco do desmatamento, onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta amazônica. Mais de 30.000 hectares de mata já foram derrubados com produtos químicos para envenenar as árvores. Segundo o Ibama (2018), o drama na Amazônia só aumenta.

Apesar de haver muitos estudos sobre a prática do uso de agrotóxicos, ou pesticidas, que é a nomenclatura mais aceita no setor agroindustrial por ser “menos ofensiva” para o mercado externo, ela continua sendo intensiva, como já mencionado. Ainda que o mercado externo exija medidas para reduzir ou mitigar o impacto ambiental, estas são ineficazes e lentas (Marin *et al.* 2022).

A Figura 1 mostra a área destinada ao uso agrícola. Somente entre 2000 e 2020, a produção agrícola na Amazônia aumentou 327,3%, totalizando 11,4 milhões de hectares de área colhida, o que representa aproximadamente R\$ 57,3 bilhões (Possamai & Serigati 2022), sendo que o Estado do Mato Grosso detém quase 70% desse total. Ainda assim, acredita-se que o Brasil precisa de mais terras agricultáveis, uma vez que o que é produzido hoje serve para abastecer o mercado local e para exportação. Portanto, Martinelli *et al.* (2016) consideram necessário repensar o modelo agropecuário: “Abrir novas áreas derrubando a floresta não é mais o plano”.

As áreas destinadas à pecuária na Amazônia brasileira são frequentemente associadas ao desmatamento ilegal, e títulos de terra falsos tornam a regulamentação mais desafiadora (Ribeiro 2020). Segundo profissionais do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá: “A pecuária em si não é o problema, mas, sim, a forma de produção, que pode ser benéfica ou prejudicial”. Expressões ou posicionamentos como esses enfraquecem os argumentos e as lutas para combater o desmatamento da floresta amazônica, favorecendo o avanço da soja e da pecuária. Perspectivas semelhantes podem ser encontradas dentro dos institutos acadêmicos e de pesquisa (Júnior *et al.* 2022). Por isso é fundamental a divulgação de estudos que destaquem a importância da restauração de terras, do uso das Boas Práticas de Produção Agrícola (BPPA) e do Manejo Integrado de Pragas (MIP), como alternativas de produção mais sustentáveis.

É necessária ação urgente para proibir ou limitar o uso de pesticidas químicos na produção agrícola, ao mesmo tempo em que se sugere o uso de produ-

tos orgânicos para impulsionar a bioeconomia da região. Também é fundamental ter um Estado eficaz no combate ao desmatamento na Amazônia, com fortes órgãos de controle e fiscalização, principalmente no que se refere aos métodos de pulverização aérea de pesticidas sobre a floresta. Isso requer investimentos em tecnologias como sensoriamento remoto e drones, necessários para melhorar os esforços de controle e monitoramento.

Impacto social

A questão do impacto social pode ser abordada a partir de vários domínios, inclusive o setor econômico. No entanto, ao abordar especificamente a questão da bioeconomia, esta será analisada na perspectiva dos serviços ecossistêmicos. Estes bens e serviços também são obtidos pelos seres humanos a partir dos ecossistemas, incluindo serviços de apoio, de provisão e culturais (Reid *et al.* 2005). A polinização e a dispersão de sementes fazem parte dos serviços de apoio e provisão. Portanto, analisar esses serviços ambientais é essencial para garantir a saúde e o bem-estar humano, bem como manter o equilíbrio e a sobrevivência de muitas espécies do planeta.

Em relação ao tema central desta revisão – os agrotóxicos –, estes podem ter impacto significativo em alguns serviços ecossistêmicos. Por exemplo, na polinização, o uso de alguns agrotóxicos foi associado à diminuição das populações de abelhas (Sánchez-Bayo *et al.* 2016), tendo efeito negativo na saúde e comportamento desses insetos (Zhao *et al.* 2022) e reduzindo sua capacidade de forrageio, aprendizagem e memória (Siviter *et al.* 2018). Colin *et al.* (2019) sugerem que inseticidas como os neonicotinoides, mesmo em doses subletais, favorecem a disseminação de doenças nas abelhas. Em um nível geral, a exposição aos agrotóxicos, além de matar diretamente as abelhas, pode afetar a saúde de toda a colmeia (Gill *et al.* 2012). Consequentemente, afeta também a produtividade de culturas dependentes da polinização e, na Amazônia, a maioria das plantas que produzem frutos comestíveis são polinizadas por abelhas (Paz *et al.* 2021). Portanto, o uso descontrolado de agrotóxicos teria várias implicações nos aspectos socioeconômicos e de segurança alimentar, especialmente para as comunidades locais da bacia amazônica.

Outro serviço cultural e de provisão de ecossistemas importante para a manutenção da biodiversidade é a dispersão de sementes, que é realizada principalmente por aves e morcegos. Algumas aves e morcegos até promovem a regeneração de áreas degradadas por meio dessa dispersão de sementes (Athiê & Dias 2016). Por outro lado, a exposição de aves e morcegos à pulverização de pesticidas pode comprometer sua saúde diretamente, ou indiretamente,

por meio do consumo de alimentos, água ou a destruição de seu habitat (Oliveira *et al.* 2020).

Para as aves, os principais efeitos da contaminação pelo uso de agrotóxicos são a perda de habitats seguros, mudanças em seus hábitos ou comportamentos, principalmente alimentares, e diminuição de sua população devido a alterações na reprodução, que podem levar à sua extinção local (Arya *et al.* 2019). Em contrapartida, os morcegos que se alimentam de insetos são considerados mais suscetíveis aos agrotóxicos por estarem no topo da cadeia alimentar (Oliveira & Aguiar 2015). Morcegos insetívoros auxiliam no controle de populações de insetos, incluindo vetores de doenças como dengue, leishmaniose e malária, além de algumas pragas agrícolas (Oliveira *et al.* 2020). Assim, o controle biológico de pragas, que também é um serviço ecossistêmico regulador, é afetado pelo uso de agrotóxicos. Populações de morcegos observadas forrageando em áreas cultivadas organicamente apresentaram tempos de alimentação mais longos e maior riqueza de espécies em comparação com aquelas encontradas em áreas próximas a culturas tratadas quimicamente (Barré *et al.* 2018). Os impactos são altos para esses animais e podem reduzir a capacidade de sobrevivência de suas populações, o que gera grandes prejuízos não só aos esforços de conservação ecológica, mas também socioeconômicos.

Saúde humana

Nesta questão da saúde humana, alguns aspectos precisam ser analisados. Um deles é a saúde das populações locais, que são diretamente afetadas pelas aplicações de agrotóxicos para a produção agrícola de lavouras próximas a suas residências. Ao mesmo tempo, em muitos casos, essas mesmas comunidades locais são as primeiras a agir para proteger o meio ambiente por intermédio de suas práticas de manejo sustentável. Os povos indígenas, particularmente, possuem conhecimentos ancestrais e nutrem profundo respeito pela “Mãe Terra”, o que lhes dá uma visão holística de seu meio ambiente. Essa perspectiva permite que eles forneçam múltiplos serviços ecossistêmicos para o benefício da humanidade como um todo (Ribeiro & de Sá Neto 2019).

No entanto, apesar de suas contribuições, as comunidades ancestrais e os povos indígenas enfrentam diversos desafios, como a marginalização e os impactos negativos gerados pela sociedade. Também enfrentam políticas destrutivas relacionadas à invasão de seus territórios (Oliveira *et al.* 2018). A contaminação por agrotóxicos e intoxicações são as principais ameaças aos municípios, juntamente com a mineração, que gera conflitos territoriais pelo uso e garimpo (Lima *et al.* 2022; Pignati *et al.* 2021; Ribeiro & de Sá Neto 2019).

Como mencionado anteriormente, o Brasil tem uma longa história de uso de agrotóxicos, o que se reflete nas práticas atuais e nos efeitos nocivos observados, principalmente nas populações indígenas (Ribeiro & de Sá Neto 2019). Embora seja impossível ignorar esse problema histórico, é fundamental abordar os casos recentes de intoxicação por agrotóxicos em populações amazônicas, frequentemente justificados como simples eventos acidentais (Oliveira *et al.* 2018). Conforme mencionado, a maioria dos casos notificados de intoxicações envolvendo povos indígenas concentra-se em áreas próximas à fronteira agrícola, principalmente no sul da Amazônia Legal, especificamente na região norte do Estado de Mato Grosso. Essa área tem testemunhado a ampla implantação e imposição de práticas agroindustriais em larga escala (Pinheiro *et al.* 2022). Mato Grosso é um dos principais responsáveis pelo desmatamento na região amazônica, além de abrigar numerosos grupos indígenas, cujos territórios são cada vez mais invadidos pela expansão das monoculturas. Trata-se de um caso exemplar da degradação ambiental a que o modelo do agronegócio pode levar, caso continue se expandindo para outros estados amazônicos (Bombardi 2017; Oliveira *et al.* 2018).

Diante da extensão dos problemas resultantes da expansão da fronteira agrícola na Amazônia, é crucial compreender os impactos socioambientais que essa expansão acarreta, especialmente no contexto das comunidades indígenas. Nesse sentido, representantes de organizações como a Operação Amazônia Indígena (OPAN), têm redirecionado seus esforços para uma compreensão mais profunda da perspectiva indígena sobre os efeitos da contaminação por agrotóxicos, como o caso dos indígenas região hidrográfica da bacia do Juruena, localizada no noroeste do Estado de Mato Grosso (Oliveira *et al.* 2018). Comunidades indígenas como Paresi, Rikbaktsa, Manoki, Myky e Nambikwara destacam a relação intrínseca entre os agrotóxicos, a perda da biodiversidade e a insegurança alimentar, o que representa uma ameaça à sustentabilidade de seus territórios. É interessante notar que as perspectivas indígenas sobre poluição e mudanças observadas na paisagem diferem do discurso dominante em campos acadêmicos especializados.

Na perspectiva do conhecimento indígena, "a atenção não está voltada apenas para os danos sofridos pela espécie humana, mas, sim, para a preocupação com o bem-estar de diversos seres vivos que também correm risco de contaminação". Nas narrativas dos indígenas, essa preocupação se reflete ao destacar a contaminação de seres específicos considerados como sujeitos de direito (Regina 2021). Além disso, a forma como ocorre a contaminação difere entre os vários seres, humanos e não-humanos. Isso sublinha a íntima relação

entre os corpos e o território que habitam. A autora argumenta ainda que o caráter recíproco dessa relação é evidente, sejam eles humanos, peixes, animais terrestres, vegetais ou outros seres (Regina 2021).

Outra referência que ilustra a perspectiva indígena sobre os impactos do agronegócio mato-grossense em seus territórios é o curta-metragem *Para onde foram as andorinhas?* (disponível no YouTube), produzido pelo Instituto Socioambiental e Instituto Catitu, no Parque Indígena do Xingu (PIX). O curta mostra que, nos últimos 30 anos, 42% das florestas no entorno do PIX foram desmatadas para dar lugar a monoculturas de soja e milho. O PIX abriga aproximadamente 6.500 indígenas de 16 comunidades diferentes que dependem da floresta para alimentação, material ritual, recursos medicinais e material de construção para suas casas. Os índios do Xingu também têm constatado a propagação dos incêndios florestais e como os frutos de sua roça apodrecem antes de atingirem a maturidade.

No Brasil, no entanto, faltam dados ou relatos sobre intoxicação por agrotóxicos em populações tradicionais. Incidentes de envenenamento em cidades e vilas são desconhecidos ou não incluídos nas estatísticas oficiais do governo (Marques *et al.* 2022). Essa disponibilidade limitada de informações dificulta uma compreensão abrangente do problema e representa um obstáculo significativo para o desenvolvimento de políticas de saúde pública que possam proteger as comunidades locais (Ochoa-Cueva *et al.* 2022). Consequentemente, torna-se um desafio abordar esse problema em todas as escalas possíveis.

Os efeitos adversos dos agrotóxicos em pessoas que vivem em locais próximos a plantações de monoculturas continua sendo um grande desafio para saúde pública. É importante considerar o contexto histórico da pulverização de agrotóxicos em áreas próximas às populações amazônicas locais e seus efeitos prejudiciais à saúde. Também resta analisar como as agroindústrias externas e transnacionais promovem o uso desses produtos químicos para a produção agrícola, mesmo dentro das comunidades indígenas (Leite 2007). Este último aspecto será abordado em mais detalhes no tópico da bioeconomia, descrito a seguir.

Bioeconomia

Sobre o assunto bioeconomia, foram encontrados registros de publicações científicas, sendo 70% originários do Brasil, 23% do Equador e 7% do Peru. Também foram localizados registros de publicação a partir de um único artigo nas décadas de 1980, 1990 e 2010. Portanto, mais de 50% das publicações sobre o tema foram registradas nos últimos três anos.

A economia brasileira depende em grande parte do setor agrícola (Ribeiro 2020), o que tornou o país um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos (FAO 2022). Schiesari *et al.* (2013) destacam que, na região amazônica, a falta de assistência técnica leva ao uso inadequado desses produtos químicos, o que resulta em super ou subdosagem. Tanto as práticas a curto como as de longo prazo contribuem para o aumento da contaminação dos recursos naturais, devido à falta de eficácia do produto, razão pela qual são feitas aplicações mais frequentes, afetando direta e indiretamente a saúde da população.

Diante dessa realidade, é muito importante mudar estrategicamente a dinâmica do desenvolvimento agrícola na bacia, em direção a um modelo mais sustentável que englobe aspectos econômicos, sociais e ambientais (Arvor *et al.* 2017; Martinelli *et al.* 2010). Por isso, é fundamental divulgar e reproduzir casos bem-sucedidos de agricultura sustentável que conseguiram eliminar ou substituir o uso desses insumos sintéticos por alternativas não prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Isso é exemplificado em Durofil *et al.* (2021) e Spletozer *et al.* (2021), que mostram que algumas plantas amazônicas, como as piperáceas, têm potencial para serem empregadas como inseticidas naturais.

Impactos na bioeconomia de comunidades amazônicas (guaraná)

No contexto da bioeconomia relacionada à produção agrícola na região amazônica, pode-se destacar uma cultura nativa conhecida como guaraná [*Paulinia cupana* var. *sorbilis* (Martius) Ducke]. Originalmente classificada como liana (trepadeira), torna-se um arbusto quando cultivada em ambientes abertos. O Brasil é o único país que produz guaraná comercialmente em escala significativa.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a produção de guaraná em 2021 foi de aproximadamente 2.732 toneladas. Isso ocorreu em uma área de 10.099 ha, resultando em uma produtividade média de 271 kg/ha. O faturamento total gerado pela produção do guaraná foi de R\$ 39.857.000,00. Entre os estados do Brasil, a Bahia lidera em produção, com cerca de 1.831 toneladas e rendimento médio de 160 kg/ha.

No Estado do Amazonas, principalmente no município de Maués, parte importante da produção de guaraná é realizada por agricultores familiares. Os indígenas da etnia Sateré-Mawé, que se consideram filhos e descendentes da planta, referem-se a ela como “Waraná”, termo que acabou dando origem ao seu nome comercial. Foram os primeiros a cultivá-la, para fins medicinais, nutricionais, espirituais e ritualísticos. Essa etnia acredita que o fruto carrega o poder espiritual do saber e da sabedoria dos “Wará”. O guaraná tem grande signifi-

do para a população local de Maués, representando sua história e cultura, ao mesmo tempo em que traz contribuições substanciais para a economia local e, conseqüentemente, promove o avanço social (Beaufort *et al.* 2008; Figueroa 2016; Idesam 2018).

Atualmente, a produção do guaraná atende principalmente à demanda da indústria farmacêutica, para fins medicinais, e da indústria de refrigerantes, onde é utilizado como principal extrato para bebidas. O mercado do guaraná se expandiu e, para dar conta da forte demanda, foi necessário aumentar a produção. Como resultado, os sistemas agrícolas tradicionais que anteriormente cultivavam o guaraná mudaram para práticas predominantemente de monocultura (Filoche & Pinton 2014).

Para obter maior produtividade, menores perdas e maior resistência, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem realizando melhoramento genético e estudando “plantas-mãe” desde 1976. Isso permitiu desenvolver as “mudas clonais”, que são a base do sistema de criação de planta em monoculturas (Atroch *et al.* 2012).

Para induzir o enraizamento desses “clones”, é necessário aplicar fito-hormônios, sendo o ácido indol-3-butírico o mais utilizado. O substrato para cultivo consiste em uma mistura de solo florestal, areia e superfosfato simples. Água, ureia e cloreto de potássio são geralmente usados para fertilização de mudas. Apesar da resistência desses clones, eles ainda apresentam incidência de doenças como a antracnose [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. e Sacc.] e pragas como tripses (*Liothrips adisi*), que podem afetar as plantas em vários estágios de crescimento. Para mitigar as infestações, são utilizados agrotóxicos como acefato e deltametrina, classificados como inseticidas, e fungicidas como azoxistrobina, difenoconazol, metiltiofanato, tebuconazol e flutriafol (Pereira 2005).

Segundo Pereira *et al.* (2018), a utilização de matrizes clonadas nesse “novo” sistema de produção tem feito com que alguns dos pequenos produtores se tornem dependentes de agrotóxicos e outros insumos, o que elevou os custos de produção e a inviabilizou economicamente. Um levantamento realizado pelo Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (Idesam 2018) revela que 69% dos produtores da região estabelecem seus plantios de guaraná por meio de clones, dos quais 25% a 30% utilizam adubação química e os demais, optam por manter as práticas tradicionais utilizando adubos orgânicos como terra preta, paus, galhos, folhas secas e restos de poda. Clones que não recebem os cuidados necessários, muitas vezes por falta de recursos financeiros dos produtores, ficam mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças, prejudicando o resultado final da produção.

Além dos problemas econômicos, o uso de agrotóxicos afeta diretamente as populações da família Apidae, principalmente as espécies *Melipona seminigra*, *Xylocopa muscaria* e *Apis mellifera*, consideradas as principais polinizadoras do guaraná (Gondim 1984; Lima & Rocha 2012). No entanto, estudos específicos são necessários para investigar o comportamento das abelhas perante os agrotóxicos aplicados no guaraná. Sabe-se, também, que a adoção de práticas agrícolas que apoiem os polinizadores, como a redução do uso de agrotóxicos, principalmente durante a floração, e a conservação da mata próxima às lavouras, para criar um ambiente favorável à nidificação e à disponibilidade de recursos florais para as abelhas, é fundamental para melhorar a produção (Wintermantel *et al.* 2022).

Em linha com a adoção de Modelos Agroecológicos Sustentáveis (MAS), os produtores das comunidades ribeirinhas do rio Urupadi decidiram resgatar a forma ancestral de cultivo do guaraná. Os clones passaram a ser substituídos por mudas, ou “filhos” como denominados por eles, oriundos das lianas (planta-mãe) que se encontram na sua forma original dentro da floresta, conhecidas como “guaraná selvagem”. A coleta de mudas florestais é realizada em áreas que abrigam um *pool* gênico diversificado de guaraná silvestre. Essas mudas são então plantadas ao lado de árvores existentes, incluindo árvores frutíferas e outras espécies naturais. Essa abordagem de agroecossistema cria um ambiente para o cultivo do guaraná que se assemelha muito ao seu habitat natural. É provável que esta reprodução do ambiente nativo contribua para a regulação natural de pragas e doenças. Como resultado, a área cultivada é transformada em um agroecossistema florestal que se beneficia de fontes naturais de fertilização (Aguiar *et al.* 2021).

Para fortalecer o mercado, os produtores do rio Urupadi fundaram, em 2015, a AAFAU (Asociación de Agricultores Familiares del Alto Urupadi). Essa associação reúne aproximadamente 50 famílias engajadas no cultivo sustentável do guaraná por meio da agricultura familiar. A associação possui o selo Ecocert (Certificados de Conformidade Orgânica do Guaraná), que, além de atestar que o guaraná é 100% orgânico, valoriza o produto e os produtores, garantindo um preço justo nas vendas nacionais e internacionais (Trindade *et al.* 2021). Além disso, seus membros participam ativamente da preservação e a conservação das florestas por meio da adoção de um modelo sustentável agroecológico.

Além da venda de grãos de guaraná torrados, a associação oferece produtos secundários, como o pó de guaraná orgânico e uma bebida refrescante à base de guaraná. Em 2017, os produtores dessa associação receberam o registro de Organização de Controle Social (OCS), que lhes permite vender seus produtos diretamente em feiras, mercados ou para o governo (Pereira *et al.* 2020).

Atualmente, a AAFAU comercializa seus produtos por meio de lojas físicas e também digitais, em seu site. E, por isso, cada vez mais produtores de guaraná estão aderindo ao movimento e utilizando o guaraná silvestre como principal produto. É importante destacar que esses produtores se abstêm do uso de agrotóxicos, tentando alcançar uma produção em maior equilíbrio com o meio ambiente.

Concluída a revisão da literatura científica sobre o assunto, constatou-se a carência de estudos comparativos de produtividade entre o “clone de guaraná e o guaraná silvestre”. Embora extensa pesquisa tenha sido feita sobre o clone de guaraná, o estudo do guaraná selvagem em sua forma atual e manejo é um tópico de pesquisa relativamente recente. Essa discrepância temporal revela a necessidade de mais estudos para avaliar e comparar a produtividade dessas duas variedades. Também é imprescindível a realização de pesquisas que valorizem a produção orgânica e familiar do guaraná e outras culturas silvestres da Amazônia, levando em consideração não apenas os aspectos econômicos, mas também a preservação e a perpetuação da cultura local.

Conclusões

Este estudo faz uma revisão temporal das publicações indexadas em bases de dados científicas sobre agroquímicos para toda a bacia amazônica. Mostra o início e o número de publicações por décadas dos diferentes países que a compõem. Descreve também como têm sido distribuídas as diferentes abordagens aos estudos de agrotóxicos, revelando possíveis vieses e lacunas no conhecimento nos dados pormenorizados.

O uso de agrotóxicos e a expansão da fronteira agrícola são questões relacionadas e multifacetadas que envolvem diversos setores, sendo o aspecto econômico rumo a um mercado global, aquele que prevalece atualmente. Consequentemente, há necessidade premente de ampliar os esforços de pesquisa em todas as questões abordadas, particularmente sobre os efeitos adversos à saúde humana e ambiental (partes bióticas e abióticas) da Amazônia.

Também é importante ressaltar a necessidade de descrever alternativas sustentáveis de produção para a região. Uma solução potencial passa pelo aproveitamento da produção agrícola de espécies silvestres com abordagem orgânica e a transformação desses produtos naturais feita pelos mesmos membros das comunidades locais, ativando a bioeconomia e o impacto social. Numerosos estudos de caso, como o do guaraná nesta revisão, demonstram a viabilidade

de replicar abordagens semelhantes em diferentes comunidades, culturas e países que compõem a bacia amazônica.

Embora a investigação científica sobre os pesticidas tenha aumentado exponencialmente nos últimos 15 anos, continua a ser necessário melhorar as políticas públicas e a colaboração entre os 8 países que compõem a bacia. As ligações internacionais entre universidades e institutos de investigação permitirão o estabelecimento de redes de colaboração que promoverão a investigação futura em benefício da gestão sustentável dos recursos naturais da Amazônia.

Agradecimentos – Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio ao desenvolvimento da primeira edição da Escola São Paulo de Ciências Avançadas (ESPCA) Amazônia Inclusiva e Sustentável, FAPESP 2022/06028-3. Nosso agradecimento especial aos professores que participaram da ESPCA, fizeram comentários e deram sugestões para melhorar esta revisão.

Contribuições dos autores – Todos os autores contribuíram igualmente para a conceitualização, metodologia e redação das versões inicial e final do texto.

Conflitos de interesse – Os autores declaram que não têm conflitos de interesse relacionados à publicação deste manuscrito.

Ética – O presente estudo não envolve seres humanos e/ou ensaios clínicos que deveriam ser aprovados pelo Comitê de Ética Institucional.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, O. D. C. M., DA SILVA LOPES, S. K., CASCAES, S. F., TRINDADE, L. L. L., DONEGÁ, M. V. B., RABELO, N. P., DA SILVA, S. C. P., PEREIRA, C. F., DE SOUZA, L. A. N., & FRAXE, T. D. J. P. (2021). Sistema agrícola tradicional e certificação orgânica: o caso dos guaranazais nativos das comunidades tradicionais do Alto Urupadí, Maués (AM). In: **Carla da Silva Sousa, Sayonara Cotrim Sabioni, Francisco de Sousa Lima.(Org.). Agroecologia: Métodos E Técnicas Para Uma Agricultura Sustentável. 1ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2**, 80-100. <https://doi.org/10.37885/210203245>
- ARÉVALO-JARAMILLO, P., IDROBO, A., SALCEDO, L., CABRERA, A., VINTIMILLA, A., CARRIÓN, M., & BAILON-MOSCOSO, N. (2019). Biochemical and genotoxic effects in women exposed to pesticides in Southern Ecuador. **Environmental Science and Pollution Research**, **26**(24), 24911-24921. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05725-7>
- ARVOR, D., TRITSCH, I., BARCELLOS, C., JÉGOU, N., & DUBREUIL, V. (2017). Land use sustainability on the South-Eastern Amazon agricultural frontier: Recent progress and the challenges ahead. **Applied geography**, **80**, 86-97.
- ARYA, A. K., SINGH, A., & BHATT, D. (2019). Pesticide applications in agriculture and their effects on birds: an overview. **Contaminants in agriculture and environment: health risks and remediation**, **5**(10), 130-137.
- ATHIÊ, S., & DIAS, M. (2016). Use of perches and seed dispersal by birds in an abandoned pasture in the Porto Ferreira state park, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, **76**, 80-92.

- ATROCH, A. L., NASCIMENTO-FILHO, F. J. D., ANGELO, P. D. S., FREITAS, D. V. D., SOUSA, N. R. D., RESENDE, M. D., & CLEMENT, C. (2012). Domestication and breeding of the guaraná tree. **Domestication and Breeding: Amazonian Species, Federal University of Viçosa, Viçosa**, 333-360.
- BARRÉ, K., LE VIOL, I., JULLIARD, R., CHIRON, F., & KERBIRIOU, C. (2018). Tillage and herbicide reduction mitigate the gap between conventional and organic farming effects on foraging activity of insectivorous bats. **Ecology and Evolution**, 8(3), 1496-1506.
- BEAUFORT, B., WOLF, S., & MARY, R. (2008). **Le guarana, trésor des indiens Sateré Mawé: mythes fondateurs, biodiversité, commerce équitable**. Y. Michel.
- BOMBARDI, L. M. (2017). **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. São Paulo.
- BRINKMAN, W. (1983). Nutrient balance of a central Amazonian rainforest: comparison of natural and man-managed systems. **Hydrology of Humid Tropical Regions IAHS Publication**(140).
- COLIN, T. O., MEIKLE, W. G., WU, X., & BARRON, A. B. (2019). Traces of a neonicotinoid induce precocious foraging and reduce foraging performance in honey bees. **Environmental Science & Technology**, 53(14), 8252-8261.
- COPATTI, C. E., GARCIA, L. D. O., & BALDISSEROTTO, B. (2009). Uma importante revisão sobre o impacto de agroquímicos da cultura de arroz em peixes. **Biota Neotropica**, 9.
- DAAM, M. A. (2022). Towards a tiered regulatory framework for the prospective aquatic effect assessment of pesticides in (Neo) tropical areas. **Integrated environmental assessment and management**.
- DE ARAÚJO MASCARENHAS, G. M., DE ARAÚJO, L. M., & TIETZMANN, J. A. (2020). Agrotóxicos, dominação e fronteiras: significação, relação e perspectivas sobre o pacote tecnológico agrícola e a Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, 10(3).
- DE OLIVEIRA, H. F. M., & AGUIAR, L. M. S. (2015). The response of bats (Mammalia: Chiroptera) to an incidental fire on a gallery forest at a neotropical savanna [Article]. **Biota Neotropica**, 15(4), Article e0091. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0091>
- DUROFIL, A., RADICE, M., BLANCO-SALAS, J., & RUIZ-TÉLLEZ, T. (2021). Piper aduncum essential oil: a promising insecticide, acaricide and antiparasitic. A review. **Parasite**, 28, 42. <https://doi.org/10.1051/parasite/2021040> (L'huile essentielle de Piper aduncum: un insecticide, acaricide et antiparasitaire prometteur. Une synthèse.)
- FAO. (2022). Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators – Global, regional and country trends, 1990–2020. **FAOSTAT Analytical Briefs**, no. 46. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0918en>
- FIGUEROA, A. L. G. (2016). Guaraná, a máquina do tempo dos Sateré-Mawé. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, 11.
- FILOCHE, G., & PINTON, F. (2014). Who Owns Guaraná? Legal Strategies, Development Policies and Agricultural Practices in Brazilian Amazonia. **Journal of Agrarian Change**, 14(3), 380-399.
- GILL, R. J., RAMOS-RODRIGUEZ, O., & RAINE, N. E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. **Nature**, 491(7422), 105-108.
- GONDIM, C. J. E. (1984). Alguns aspectos da biologia reprodutiva do guaranazeiro (Paullinia cupana var. sorbilis (Mart.) Ducke - Sapindaceae. **Acta Amazonica**, 14.
- GONZALES, J. (2022). **Chemical defoliantes sprayed on Amazon rainforest to facilitate deforestation in Brazil**. Retrieved February 14, 2023 from [https://news.mongabay.com/2022/01/pesticides-released-into-brazils-amazon-to-degrade-rainforest-and-facilitate-deforestation/#:~:text=Glyphosate%2C%20carbosulfan%20\(prohibited%20on%20aerial,of%20Deforestation%20\(the%20Legal%20Amazon](https://news.mongabay.com/2022/01/pesticides-released-into-brazils-amazon-to-degrade-rainforest-and-facilitate-deforestation/#:~:text=Glyphosate%2C%20carbosulfan%20(prohibited%20on%20aerial,of%20Deforestation%20(the%20Legal%20Amazon)
- GUARDA, P. M., PONTES, A. M. S., DOMICIANO, R. D. S., GUALBERTO, L. D. S., MENDES, D. B., GUARDA, E. A., & DA SILVA, J. E. C. (2020). Assessment of Ecological Risk and Environmental Behavior of Pesticides in Environmental Compartments of the Formoso River in Tocantins, Brazil. **Archives of**

Environmental Contamination and Toxicology, 79(4), 524-536. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00770-7>

IBAMA. (2018). **Instrução Normativa Nº 27, De Dezembro de 2018. Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis**. Retrieved 21 de Janeiro de 2023 from www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=138813

IBAMA. (2020). **Consumo de agrotóxicos e afins (2000 - 2019)**. Retrieved 14 de Fev. 2023 from http://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2019/grafico_do_historico_de_comercializacao_2000-2019.pdf.

IBGE. (2021). **Produção do guaraná**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/guarana/am>

IDESAM. (2018). INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA. A cadeia de valor do guaraná de Maués. **Ana Carolina Bastida da Silva, Eric Marotta Brosler, Laís Bentes de Almeida, Marina Yasbek Reia, Ramon Weinz Morato**, 82 p. il. Color. ISBN:978-85-64371-34-7.

JÚNIOR, J. M. V., VARGAS, L. P., & BET, V. T. (2022). Flexibilização dos agrotóxicos no Brasil: a expansão dos registros e do consumo. **Iniciação Científica Cesumar**, 24(1), 1-22.

LEITE, M. S. (2007). **Transformação e persistência: antropologia da alimentação e nutrição em uma sociedade indígena amazônica**. Editora Fiocruz.

LERMEN, J., BERNIERI, T., RODRIGUES, I. S., SUYENAGA, E. S., & ARDENGHI, P. G. (2018). Pesticide exposure and health conditions among orange growers in Southern Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, 53(4), 215-221.

LIMA, F. A. N. D. S., CORRÊA, M. L. M., & GUGELMIN, S. A. (2022). Territórios indígenas e determinação socioambiental da saúde: discutindo exposições por agrotóxicos. **Saúde em Debate**, 46, 28-44.

LIMA, M. C. D., & ROCHA, S. D. A. (2012). Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil. **Brasília, IBAMA**(Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

LOUTER, A. J. H., VAN BEEKVELT, C. A., CID MONTANES, P., SLOBODNIK, J., VREULS, J. J., & BRINKMAN, U. A. T. (1996). Analysis of microcontaminants in aqueous samples by fully automated on-line solid-phase extraction-gas chromatography-mass selective detection. **Journal of Chromatography A**, 725(1), 67-83. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9673\(95\)00979-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-9673(95)00979-5)

MARIN, F. R., ZANON, A. J., MONZON, J. P., ANDRADE, J. F., SILVA, E. H. F. M., RICHTER, G. L., ANTONLIN, L. A. S., RIBEIRO, B. S. M. R., RIBAS, G. G., BATTISTI, R., HEINEMANN, A. B., & GRASSINI, P. (2022). Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. **Nature Sustainability**, 5(12), 1018-1026. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00968-8>

MARQUES, N. R., DE LIMA, I. C. M., LOPES, A. C., DE ALCÂNTARA MENDES, R., FAIAL, K. R. F., MOTA, A. M., & MIRANDA, F. P.-J. (2022). Neurological Evaluation in Quilombolas Individuals Exposed to Organophosphorus Pesticides in the Brazilian Amazon Population. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, 9, 7.

MARTINELLI, L. A., COLETTA, L. D., LINS, S. R. M., MARDEGAN, S. F., & DE CASTRO VICTORIA, D. (2016). Brazilian Agriculture and Its Sustainability. In G. Steier & K. K. Patel (Eds.), **International Food Law and Policy** (pp. 767-792). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07542-6_32

MARTINELLI, L. A., NAYLOR, R., VITOUSEK, P. M., & MOUTINHO, P. (2010). Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 2(5), 431-438. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.09.008>

MENDEZ, A., NG, C. A., TORRES, J. P. M., BASTOS, W., BOGDAL, C., DOS REIS, G. A., & HUNGER-BUEHLER, K. (2016). Modeling the dynamics of DDT in a remote tropical floodplain: indications of post-ban use? **Environmental Science and Pollution Research**, 23(11), 10317-10334. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5641-x>

- MUSSY, M. H., BRUCHA, G., REIS, M. G., USHIMARU, P. I., YAMASHITA, M., & BASTOS, W. R. (2013). Identification of microorganisms resistant to the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D) in soils of Rondonia, Brazil. **Interiencia**, **38**(5), 353-357.
- NEVES, P., COLABUONO, F., FERREIRA, P., KAWAKAMI, S., TANIGUCHI, S., FIGUEIRA, R., MAHIQUES, M., MONTONE, R., & BÍCEGO, M. (2018). Depositional history of polychlorinated biphenyls (PCBs), organochlorine pesticides (OCPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an Amazon estuary during the last century. **Science of the Total Environment**, **615**, 1262-1270.
- NOBRE, C., ENCALADA, A., ANDERSON, E., & NEVES, E. G. (2021). Science panel for the Amazon: Amazon Assessment Report 2021: executive summary.
- OCHOA-CUEVA, P. A., ARTEAGA, J., ARÉVALO, A. P., & KOLOK, A. S. (2022). A potential pesticides exposure index (PPEI) for developing countries: Applied in a transboundary basin. **Integr Environ Assess Manag**, **18**(1), 187-197. <https://doi.org/10.1002/ieam.4470>
- OLIVEIRA, J., DESTRO, A., FREITAS, M., & OLIVEIRA, L. (2020). How do pesticides affect bats?—A brief review of recent publications. **Brazilian Journal of Biology**, **81**, 499-507.
- OLIVEIRA, L. K. D., PIGNATI, W., PIGNATTI, M. G., BESERRA, L., & LEÃO, L. H. D. C. (2018). Processo sócio-sanitário-ambiental da poluição por agrotóxicos na bacia dos rios Juruena, Tapajós e Amazonas em Mato Grosso, Brasil. **Saúde e Sociedade**, **27**, 573-587.
- PAGE, M. J., MCKENZIE, J. E., BOSSUYT, P. M., BOUTRON, I., HOFFMANN, T. C., MULROW, C. D., SHAMSEER, L., TETZLAFF, J. M., AKL, E. A., BRENNAN, S. E., CHOU, R., GLANVILLE, J., GRIMSHAW, J. M., HRÓBJARTSSON, A., LALU, M. M., LI, T., LODER, E. W., MAYO-WILSON, E., MCDONALD, S., . . . MOHER, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **International Journal of Surgery**, **88**, 105906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- PAZ, F. S., PINTO, C. E., DE BRITO, R. M., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., & GIANNINI, T. C. (2021). Edible fruit plant species in the Amazon forest rely mostly on bees and beetles as pollinators. **Journal of economic entomology**, **114**(2), 710-722.
- PEREIRA, C. F., DA SILVA, S. C. P., DONEGÁ, M. V. B., FRAXE, T. D. J. P., DA SILVA LOPES, S. K., CASCAES, S. F., AGUIAR, O. D. C. M., JUNIOR, S. V. C., TRINDADE, L. L. L., & PEREIRA, J. V. R. G. (2020). Certificação Orgânica de Cultivos de Guaraná Originários de Sementes Nativas pelas Comunidades Tradicionais do Alto Urupadí, Maués, AM. **Cadernos de Agroecologia**, **15**(4).
- PEREIRA, C. F., SILDARRIAGA, G. M., SANTIAGO, J. L., FRAXE, T. D. J. P., & CASTRO, A. P. D. (2018). Organização de controle social da produção agroecológica do guaraná selvagem (Paullinia cupana Khunt.): experiência da Associação dos Agricultores Familiares do Alto Urupadí, no município de Maués—Amazonas. **Cadernos de Agroecologia**, **13**(1).
- PEREIRA, J. C. (2005). Cultura do guaranzeiro no Amazonas (4. Edição). **Embrapa Amazônia Ocidental** 40 p. ISSN 1679-8880
- PESSOA, M. C. P. Y., FIGUEIREDO, R. D. O., DE QUEIROZ, S. C. N., GOMES, M. A. F., SOARES PEREIRA, A., CARVALHO, E. J. M., FERRACINI, V. L., SOUZA, M. D. D., LIMA, L. M., & CRUZ, F. M. (2010). CMLS94 Trends on Water Risk Contamination by Pesticide at Two Field Crops over Areas of Aquifers at Amazon and Southeast Regions, Brazil.
- PIGNATI, W. A., CORRÊA, M., & LEÃO, L. (2021). Desastres sócio-sanitário-ambientais do agronegócio e resistências agroecológicas no Brasil. **São Paulo: Outras Expressões**, **15**, 364.
- PINHEIRO, C. D. P. D. S., SILVA, L. C., MATLABA, V. J., & GIANNINI, T. C. (2022). Agribusiness and environmental conservation in tropical forests in the eastern Amazon. **Sustainable Production and Consumption**, **33**, 863-874. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.015>
- POSSAMAI, R., & SERIGATI, F. (2022). A relevância do bioma Amazônia para a produção agrícola. **AgroANALYSIS**, **42**(2), 16-18.
- REGINA, A. W. (2021). Como os indígenas percebem a contaminação por agrotóxicos. **Cuiabá: OPAN**, 23. <https://amazonianativa.org.br/wp-content/uploads/2022/10/Como-os-indigenas-percebem-a-contaminacao-por-agrotoxicos.pdf>

REID, W. V., MOONEY, H. A., CROPPER, A., CAPISTRANO, D., CARPENTER, S. R., CHOPRA, K., DAS-GUPTA, P., DIETZ, T., DURAIAPPAH, A. K., & HASSAN, R. (2005). **Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment**. Island Press.

REIS, L. S., BOULOUBASSI, I., MENDEZ-MILLAN, M., GUIMARÃES, J. T. F., DE ARAÚJO ROMEIRO, L., SAHOO, P. K., & PESSENDA, L. C. R. (2022). Hydroclimate and vegetation changes in southeastern Amazonia over the past 25,000 years. **Quaternary Science Reviews**, **284**, 107466. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107466>

RIBEIRO, H. M., & DE SÁ NETO, C. E. (2019). Meios de extermínio na sociedade de risco: A pulverização de agrotóxicos em terras indígenas brasileiras. **Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB)**, **5**.

RIBEIRO, M. F. (2020). **Desmatamento zero: modelo sustentável inova a criação de gado na Amazônia**. Retrieved 14 de fev. 2023 from <https://brasil.mongabay.com/2020/04/desmatamento-zero-modelo-sustentavel-inova-a-criacao-de-gado-na-amazonia/#:~:text=A%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20gado%20na%20Amaz%C3%B4nia%2C%20contudo%2C%20est%C3%A1%20quase%20sempre,Quase%20tudo%20ilegal>

RICO, A., DE OLIVEIRA, R., SILVA DE SOUZA NUNES, G., RIZZI, C., VILLA, S., DE CAROLI VIZIOLI, B., MONTAGNER, C. C., & WAICHMAN, A. V. (2022). Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. **Chemosphere**, **291**, 132821. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132821>

RICO, A., WAICHMAN, A. V., GEBER-CORRÊA, R., & VAN DEN BRINK, P. J. (2011). Effects of malathion and carbendazim on Amazonian freshwater organisms: comparison of tropical and temperate species sensitivity distributions. **Ecotoxicology**, **20**(4), 625-634. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0601-9>

RODRIGUES-ALCÂNTARA, C. (2013). **Amazon: Biodiversity Conservation, Economic Development, and Human Impact**. Nova Publishers.

RODRIGUES, A. O., DE SOUZA, L. C., DA SILVA ROCHA, C. C., DA COSTA, A. C. G., & DE ALCÂNTARA MENDES, R. (2017). Assessment of DDT and Metabolites in Soil and Sediment of Potentially Contaminated Areas of Belém, Amazon Region, Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, **99**(1), 125-130. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2090-x>

RÖMBKE, J., WAICHMAN, A. V., & GARCIA, M. V. (2008). Risk assessment of pesticides for soils of the Central Amazon, Brazil: comparing outcomes with temperate and tropical data. **Integrated environmental assessment and management**, **4**(1), 94-104.

SÁNCHEZ-BAYO, F., GOULSON, P., PENNACCHIO, F., NAZZI, F., GOKA, K., & DESNEUX, N. (2016). Are bee diseases linked to pesticides?—A brief review. **Environment international**, **89**, 7-11.

SCHIESARI, L., WAICHMAN, A., BROCK, T., ADAMS, C., & GRILLITSCH, B. (2013). Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, **368**(1619), 20120378.

SHIMANO, Y., & JUEN, L. (2016). How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams [10.1051/limn/2016004]. **Ann. Limnol. - Int. J. Limn.**, **52**, 35-45. <https://doi.org/10.1051/limn/2016004>

SILVA, G. S. D., MATOS, L. V. D., FREITAS, J. O. D. S., CAMPOS, D. F. D., & ALMEIDA E VAL, V. M. F. D. (2019). Gene expression, genotoxicity, and physiological responses in an Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (CUVIER 1818), exposed to Roundup® and subsequent acute hypoxia. **Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology : CBP**, **222**, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.04.010>

SIVITER, H., KORICHEVA, J., BROWN, M. J., & LEADBEATER, E. (2018). Quantifying the impact of pesticides on learning and memory in bees. **Journal of Applied Ecology**, **55**(6), 2812-2821.

SPLETOZER, A. G., SANTOS, C. R. D., SANCHES, L. A., & GARLET, J. (2021). Plantas com potencial inseticida: enfoque em espécies amazônicas. **Ciência Florestal**, **31**.

TRINDADE, L. L. L., CASCAES, S. F., PINHEIRO, N. R., PEREIRA, J. V. R. G., DA SILVA LOPES, S. K., & DONEGÁ, M. V. B. (2021). Extensão universitária e certificação orgânica: o caso das comunidades tradicionais no alto rio Urupadi, Maués-AM University extension and organic certification: the case of

traditional communities in the Urupadí upper river, Maués-AM. **Brazilian Journal of Development**, **7**(12), 115030-115054.

VAL, A. L., DUARTE, R. M., CAMPOS, D., & DE ALMEIDA-VAL, V. M. F. (2022). Environmental stressors in Amazonian riverine systems.

VASCO, C., TORRES, B., JÁCOME, E., TORRES, A., ECHE, D., & VELASCO, C. (2021). Use of chemical fertilizers and pesticides in frontier areas: A case study in the Northern Ecuadorian Amazon. **Land Use Policy**, **107**, 105490. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105490>

VIANA, J. L. M., DINIZ, M. D. S., SANTOS, S. R. V. D., VERBINNEN, R. T., ALMEIDA, M. A. P., & FRANCO, T. C. R. D. S. (2020). Antifouling biocides as a continuous threat to the aquatic environment: Sources, temporal trends and ecological risk assessment in an impacted region of Brazil. **Science of the Total Environment**, **730**, 139026. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139026>

VIANA, J. L. M., DOS SANTOS, S. R. V., DOS SANTOS FRANCO, T. C. R., & ALMEIDA, M. A. P. (2019). Occurrence and partitioning of antifouling booster biocides in sediments and porewaters from Brazilian Northeast. **Environmental Pollution**, **255**, 112988. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.112988>

WAICHMAN, A. V. (2012). A problemática do uso de agrotóxicos no Brasil: a necessidade de construção de uma visão compartilhada por todos os atores sociais. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, **37**, 42-47.

WAICHMAN, A. V., EVE, E., & DA SILVA NINA, N. C. (2007). Do farmers understand the information displayed on pesticide product labels? A key question to reduce pesticides exposure and risk of poisoning in the Brazilian Amazon. **Crop Protection**, **26**(4), 576-583.

WINEMILLER, K. O., AGOSTINHO, A. A., & CARAMASCHI, É. P. (2008). 5 - Fish Ecology in Tropical Streams. In D. Dudgeon (Ed.), **Tropical Stream Ecology** (pp. 107-III). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50007-8>

WINTERMANTEL, D., PEREIRA-PEIXOTO, M.-H., WARTH, N., MELCHER, K., FALLER, M., FEURER, J., ALLAN, M. J., DEAN, R., TAMBURINI, G., KNAUER, A. C., SCHWARZ, J. M., ALBRECHT, M., & KLEIN, A.-M. (2022). Flowering resources modulate the sensitivity of bumblebees to a common fungicide. **Science of the Total Environment**, **829**, 154450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154450>

ZHAO, H., LI, G., CUI, X., WANG, H., LIU, Z., YANG, Y., & XU, B. (2022). Review on effects of some insecticides on honey bee health. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 105219.

Sobre os autores

Ana Claudia Batista é Engenheira Florestal formada pela Universidade do Estado do Pará (UEPA), mestra em Ciências (Tecnologia da Madeira) pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Atualmente é doutoranda no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/ USP). <https://orcid.org/0000-0001-8226-7996>

Fátima Aparecida Arcanjo é Bióloga, graduada na Universidade Estadual de Londrina (UEL), com mestrado e doutorado em Ciências Biológicas com ênfase em Biodiversidade e Conservação em Habitats Fragmentados/UEL. Atualmente realiza pós-doutorado na Universidade Estadual de Londrina. <https://orcid.org/0000-0002-9107-6339>

Isabela Maria Souza Silva é Engenheira Florestal formada pela Universidade do Estado do Amazonas/UEA, com mestrado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Atualmente é doutoranda no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo – CENA/USP. <https://orcid.org/0000-0001-7311-359X>

Maria Gabriella da Silva Araújo é Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), mestre em Ciências, com área de concentração em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo/USP e atualmente é aluna de doutorado no programa de Ecologia Aplicada Interunidades da ESALQ-CENA. <https://orcid.org/0000-0003-1366-9929>

Mario Rique Fernandes é formado em Ecologia, com mestrado em Desenvolvimento Sustentável e doutorado em Antropologia Social. É membro do Núcleo de Estudos da Amazônia Indígena (NEAI/UFAM) e consultor do Comitê Científico da Organização do Tratado de Cooperação Amazônica (OTCA). <https://orcid.org/0000-0002-1891-2943>

Pablo Ochoa Cueva é Engenheiro de Gestão Ambiental pela Universidade Técnica Particular de Loja – UTPL, com doutorado em Ciências e Tecnologias Agrícolas, Recursos Naturais e Desenvolvimento Rural pelas Universidades de Córdoba e Málaga. Atualmente é professor catedrático da UTPL nas modalidades presencial e à distância. <https://orcid.org/0000-0003-2230-1026>

Ulysses Madureira Maia é Biólogo formado pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Possui mestrado em Ciência Animal pela Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA), e doutorado em Zoologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). <https://orcid.org/0000-0003-0940-9331>