

Composição e Distribuição Espacial de Biofábricas Baseadas na Biodiversidade na Amazônia Brasileira

por **Diego Oliveira Brandão**^{1,2,*} , **Júlia Arieira**^{2,3} , **J. Marion Adeney**⁴ ,
Gabriel Sperandeo² , **Camila Duarte Ritter**⁵ ,
Pedro Aurélio Costa Lima Pequeno⁶ , **Lauro Euclides Soares Barata**⁷  e
Carlos Afonso Nobre^{2,8} 

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências do Sistema Terrestre, Coordenação de Educação, Pesquisa e Divulgação (COEPE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos 12227-010, Brasil

² Escritório da América do Sul, Painel Científico da Amazônia (SPA), São José dos Campos 12245-010, Brasil

³ Unidade de Pesquisa em Bioacústica Computacional (CO.BRA), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU), Cuiabá 78068-600, Brasil

⁴ Conservation X Labs, Washington, DC 20007, EUA

⁵ Instituto Juruá, Manaus 69000-000, Brasil

⁶ Núcleo de Apoio à Pesquisa de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Boa Vista 69301-150, Brasil

⁷ Laboratório de P&D em Produtos Naturais Bioativos, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém 68035-110, Brasil

⁸ Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo 05508-050, Brasil

* Autor a quem a correspondência deve ser dirigida.

Sustentabilidade **2026** , 18 (11), 5468; <https://doi.org/10.3390/su18115468>

Submissão recebida em: 3 de março de 2026 / Revisado em: 28 de março de 2026 / Aceito em: 14 de maio de 2026 / Publicado em: 29 de maio de 2026

(Este artigo pertence à seção **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**)

clique aqui para baixar
Download

Veja as figuras

Relatórios de revisão

Notas de versão

Resumo

Compreender a composição e a distribuição espacial das empresas da bioindústria na Amazônia é essencial para o desenvolvimento sustentável. Com base na análise de dados primários e secundários, apresentamos um panorama preliminar das biofábricas baseadas na biodiversidade, que transformam matérias-primas derivadas da biodiversidade amazônica em produtos industrializados, na Amazônia brasileira. Das 187 biofábricas identificadas, a maioria opera no setor alimentício (74%), seguida pelos setores de cosméticos (14%) e de produtos químicos orgânicos (9%). Registros identificaram biofábricas em 72 dos 559 municípios da área de estudo. Cinquenta por cento das biofábricas estão localizadas nos municípios de Manaus, Belém, Castanhal, Santarém, Benevides e Igarapé-Miri, que juntos concentram 18% da população da área de estudo. Por outro lado, nenhuma foi identificada nas fontes consultadas para 487 municípios, que representam 62% da população da área de estudo — cerca de 14 milhões de pessoas. A modelagem estatística entre os municípios com unidades identificadas revelou uma associação positiva entre o produto interno bruto municipal e a abundância de biofábricas. Embora algumas unidades possam passar despercebidas por operarem fora das redes formais, os registros disponíveis sugerem que essas empresas estão distribuídas geograficamente de forma desigual e, em sua maioria, apresentam baixa intensidade tecnológica. Além disso, uma parcela significativa da população pode não ter acesso direto à infraestrutura industrial local para o processamento de recursos da biodiversidade, o que evidencia potenciais desigualdades territoriais na capacidade de processamento regional.

Palavras-chave: Floresta Amazônica ; bioeconomia ; setores bioindustriais ; indústria alimentícia ; indústria ; inovação ; e infraestrutura ; sociobioeconomia ; intensidade tecnológica

1. Introdução

A Amazônia é amplamente reconhecida como uma das regiões mais biodiversas e ecologicamente complexas da Terra [1]. Diante da crescente pressão de fatores destrutivos, como o cultivo de soja e a pecuária, muitos têm apontado para o potencial de produtos derivados da biodiversidade e do conhecimento tradicional para apoiar economias sustentáveis na região [2]. Tal transformação exigiria a bioindústria — isto é, o setor industrial que utiliza organismos vivos ou moléculas bioativas para produzir bens em larga escala [3 , 4]. A bioindustrialização pode, portanto, ser uma estratégia inovadora para fomentar uma economia verde baseada na biodiversidade [5] e adaptada aos ecossistemas amazônicos [6]. Embora a noção de bioindústria amazônica ainda esteja emergindo na literatura e careça de uma definição consolidada, definimos operacionalmente “biofábricas” como unidades de produção formalmente registradas, equipadas com infraestrutura física para transformar matérias-primas derivadas da biodiversidade (como frutos, sementes e raízes) em bens industrializados com valor agregado [7].

No entanto, a escassez de informações sobre biofábricas representa um obstáculo significativo à sua incorporação em uma abordagem estratégica para a construção de economias sustentáveis na Amazônia brasileira [8]. Atualmente, os dados disponíveis sobre biofábricas amazônicas incluem produtos e serviços não relacionados à biodiversidade [9] ou focados estritamente em produtos específicos [10] e regiões [11 , 12]. Esses dados são geralmente apresentados em tabelas dispersas em trabalhos publicados. A ausência de um conjunto de dados estruturado, documentado e acessível

sobre esse tema evidencia a falta de conhecimento sobre a bioindústria na Amazônia [13]. À medida que atores nacionais e subnacionais desenvolvem políticas, estratégias e investimentos para promover o desenvolvimento de um setor industrial baseado na biodiversidade, a falta desses dados básicos representa uma lacuna crítica [8 , 14].

Apesar do crescente interesse político na bioindústria amazônica, a compreensão dos fatores que moldam a distribuição espacial das biofábricas nos municípios ainda é limitada. Pesquisas anteriores exploraram alguns fatores ambientais e estruturais. Brandão et al. (2021) levantaram a hipótese de uma relação negativa entre as taxas de desmatamento e a presença de biofábricas nos municípios, mas não encontraram associação significativa até 2017, sugerindo que as empresas mantiveram as cadeias de suprimentos apesar da perda florestal [15]. Isso possivelmente ocorre porque municípios com baixo desmatamento geralmente têm infraestrutura e densidade populacional limitadas, enquanto municípios altamente desmatados e cercados por áreas florestais ainda podem acessar recursos de biodiversidade. De fato, Gotardo et al. (2024) demonstraram que a dinâmica industrial no Brasil é fortemente influenciada pelo tamanho do mercado — usando o PIB como proxy — e pelas economias de aglomeração, que favorecem regiões com maior atividade econômica [16].

Para melhor compreender as biofábricas da Amazônia, oferecemos uma avaliação empírica inédita de sua distribuição geográfica e características. Os objetivos específicos são: (i) identificar a localização das biofábricas na Amazônia brasileira; (ii) analisar os principais setores industriais e produtos; e (iii) classificar a organização dessas biofábricas de acordo com sua natureza jurídica e status operacional. Além disso, testamos uma possível relação entre o número de biofábricas em nível municipal e o Produto Interno Bruto (PIB) municipal para avaliar o papel da escala econômica na configuração da distribuição das biofábricas. Nossa hipótese é que a distribuição das biofábricas na Amazônia brasileira está associada à escala econômica municipal, uma vez que níveis mais altos de PIB refletem o potencial de mercado e a infraestrutura necessária para sustentar unidades de processamento industrial. Discutimos a concentração de biofábricas em centros urbanos específicos, a intensidade tecnológica associada aos sistemas de produção dessas biofábricas e as limitações dos dados e resultados para o desenvolvimento de uma representação mais completa da bioindústria amazônica.

Ao investigar a distribuição geográfica e as características das biofábricas, podemos contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, com ênfase no ODS 9, que propõe a construção de infraestruturas resilientes, a industrialização inclusiva e a promoção da inovação [17]. Especificamente, as informações aqui apresentadas podem orientar as prioridades do governo, do setor privado e de outros atores que buscam aprimorar estrategicamente a infraestrutura para uma economia sustentável baseada na biodiversidade amazônica [8 , 18]. Por fim, fornecemos um conjunto de dados sobre biofábricas na Amazônia brasileira e sugerimos questões para pesquisas futuras que podem contribuir para uma compreensão mais ampla da bioindustrialização na Amazônia.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A floresta amazônica está localizada na América do Sul, ocupando aproximadamente 6,3 milhões de km². Esta vasta região abrange territórios no Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela [19]. O Brasil abriga a maior parte da floresta amazônica, com 4,2 milhões de km² [20], o que corresponde a cerca de 60% da área do bioma (**Figura 1a**). A floresta amazônica no Brasil cobre 49,5%

do território nacional. Ela abrange 559 municípios (**Figura 1b**) [21] e nove estados brasileiros (**Figura 1c**): Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO) [22].

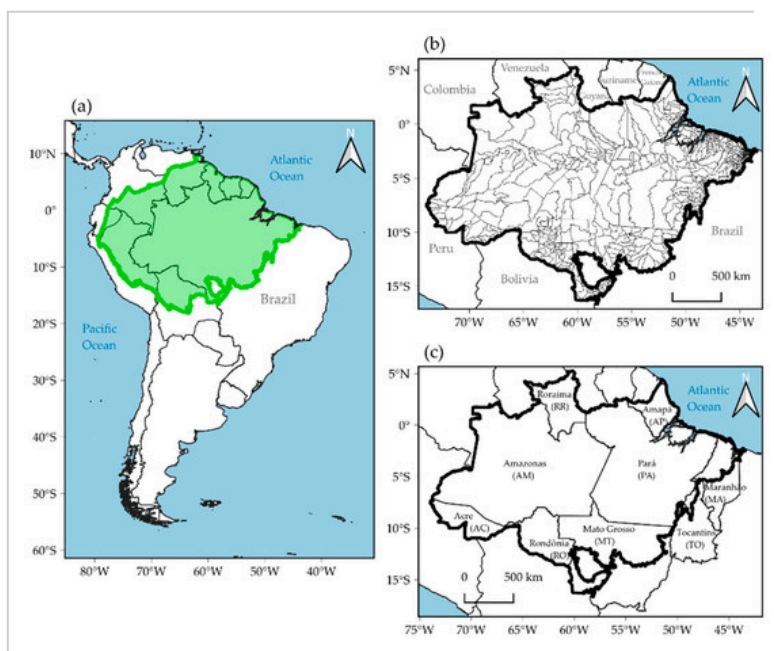


Figura 1. Representação da área de estudo. (**a**) América do Sul, destacando o domínio da floresta amazônica em verde. (**b**) Extensão da floresta amazônica no Brasil e os limites dos 559 municípios que a compõem. (**c**) Limites dos nove estados brasileiros que contêm floresta amazônica.

De acordo com os dados do censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [23], a área de estudo, que inclui 559 municípios [21], tinha uma população total de 22.436.446 pessoas. O Pará era o estado mais populoso, com 8,12 milhões de habitantes em 144 municípios, seguido pelo Maranhão (4,25 milhões em 112 municípios) e Amazonas (3,94 milhões em 62 municípios). Os estados com as menores populações eram Tocantins (~467.000 em 39 municípios), Roraima (~637.000 em 15) e Amapá (~734.000 em 16) [23].

2.2. Coleta, organização e análise de dados

2.2.1. Dados do Produto Interno Bruto (PIB)

O PIB municipal e o PIB per capita foram obtidos do conjunto de dados do IBGE para o ano de 2021 [24] para municípios nos quais pelo menos uma biofábrica foi identificada. Esses dados foram usados na análise estatística apresentada na **Seção 2.2.8** .

2.2.2. Dados da Biofábrica

As biofábricas foram identificadas por meio de um processo de busca estruturado, concebido para localizar unidades de produção no setor industrial baseado na biodiversidade da Amazônia brasileira. A fonte de dados inicial foi um estudo prévio realizado por membros da equipe de pesquisa, iniciado em 2017 e posteriormente consolidado em Brandão (2023) [10], que reuniu informações sobre empresas bioindustriais na região por meio de pesquisa de campo e fontes documentais. Fontes de dados adicionais foram identificadas por meio de buscas direcionadas em bases de dados científicas (Google Scholar e SciELO) utilizando os seguintes termos de busca em português e inglês: “biofábrica”, “bioindústria”, “bioeconomia”, “biocosmético”,

“biotecnologia” e “cadeia de suprimentos”. Esse processo de busca foi atualizado e ampliado em 2024.

A seleção das seis principais fontes publicadas entre 2021 e 2024 (**Tabela 1**) foi orientada pelos critérios de integridade e rastreabilidade dos dados. Essas fontes foram selecionadas por fornecerem tabelas estruturadas com dados em nível de biofábrica, com detalhes suficientes para permitir o rastreamento e a validação individual de cada entrada (**Tabela S1**).

Tabela 1. Número de entradas de biofábricas incluídas e excluídas no estudo para cada fonte.

Para reduzir a possível subnotificação associada ao uso exclusivo de fontes secundárias, incorporamos 36 registros primários adicionais que não estavam presentes em nenhuma das seis fontes previamente identificadas (**Tabela S2**). Essas entradas resultaram de observações de campo e da integração de informações primárias de nossos estudos regionais anteriores. Todos os registros adicionais foram submetidos aos mesmos critérios de inclusão e exclusão e aos mesmos procedimentos de identificação aplicados às fontes de dados secundárias, conforme descrito nas **Seções 2.2.3** e **2.2.4** .

2.2.3. Critérios de inclusão e exclusão para biofábricas

Para garantir a consistência do conjunto de dados, aplicamos critérios explícitos de inclusão e exclusão que distinguem o processamento industrial da produção artesanal em pequena escala. Três critérios de inclusão tiveram que ser atendidos simultaneamente: (i) uso de espécies nativas da Amazônia; (ii) existência de infraestrutura para o processamento industrial de produtos primários (**Figura 2**), confirmando a capacidade de produção [7]; e (iii) localização dentro da Amazônia brasileira, de acordo com os limites definidos pelo IBGE em 2004 [20].



Figura 2. Imagens de biofábricas na Amazônia brasileira. Instalações para a produção de óleos e manteigas vegetais nos municípios de (**a**) Carauari, (**b**) Bragança e (**c**) Lábrea e para a produção de polpa de frutas em (**d**) Porto Velho.

As fontes documentais foram avaliadas nesta ordem: Brandão (2023) [**10**], Melo e Melo (2021) [**11**], cooperativas e associações listadas por Bionorte (2023) [**25**], Oliveira et al. (2023) [**12**], Lima (2024) [**26**] e Mafra et al. (2021) [**9**]. Assim, priorizamos o conjunto de dados contendo o maior número de registros previamente validados pela equipe técnica [**10**], fornecendo um ponto de partida robusto para a sistematização das informações.

Os registros de biofábricas identificados na fonte avaliada mais antiga foram incluídos no conjunto de dados (**Tabela S2**), enquanto as entradas referentes às mesmas biofábricas em fontes posteriores foram excluídas por serem duplicadas. Em nosso protocolo estruturado de desduplicação, as duplicatas foram identificadas principalmente pela comparação dos nomes das empresas entre as fontes. Quando necessário, os atributos de localização foram usados para ajudar a verificar possíveis correspondências. Do ponto de vista metodológico, embora a ordem de avaliação tenha determinado a fonte de atribuição para cada registro, ela não afetou o número total de biofábricas identificadas no estudo.

Para garantir a consistência dos dados e minimizar o risco de reter registros desatualizados ou incorretos de fontes anteriores, os procedimentos de inclusão, exclusão e desduplicação foram revisados independentemente por pelo menos dois autores. As discrepâncias foram resolvidas por consenso. Esse procedimento reduziu, mas não eliminou completamente, a possibilidade de alguns problemas no conjunto de dados (**Tabelas S1 e S2**).

Além da remoção de duplicatas, adotamos critérios para excluir registros com base na consistência dos dados e na natureza das empresas. Registros que atendiam a pelo menos um dos seguintes critérios foram removidos: (i) entradas com informações incompletas ou inconsistentes, sem possibilidade de validação; (ii) organizações focadas exclusivamente na prestação de serviços, como institutos de pesquisa, incubadoras e similares; ou (iii) estabelecimentos cuja atividade principal é a venda de produtos finais ou intermediários, como sorveterias, padarias, restaurantes e farmácias.

2.2.4. Procedimentos para Validação e Georreferenciamento de Biofábricas

Após a coleta e seleção das informações a serem incluídas, o número de registro oficial (o CNPJ — Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas) de cada biofábrica foi identificado a partir do nome da empresa [**27**]. Com esse código único, acessou-se a página oficial do Serviço da Receita Federal do Brasil, órgão equivalente ao Serviço da Receita Federal dos Estados Unidos da América, para obter dados sobre a identificação e localização de cada biofábrica [**27**]. Essa metodologia já foi utilizada em estudos semelhantes [**11** , **12**].

Para geolocalizar as biofábricas, utilizamos o Google Maps (versão 3.61) como ferramenta de georreferenciamento digital, com o endereço vinculado ao CNPJ de cada unidade [**28**]. Quando o endereço registrado correspondia à unidade de processamento, as coordenadas geográficas foram obtidas diretamente desse local específico. Se o endereço estivesse incompleto ou correspondesse a escritórios administrativos, a localização foi verificada utilizando informações institucionais disponíveis publicamente e, quando necessário, atribuída ao nível geográfico mais específico disponível no endereço institucional associado ao registro do CNPJ.

Em alguns casos, os autores deste estudo também utilizaram conhecimento prévio sobre a localização das biofábricas como uma etapa adicional de validação na interpretação das informações de endereço disponíveis. Esse conhecimento prévio não substituiu os

registros oficiais, mas auxiliou na confirmação da localização correta das unidades de produção quando as informações documentais eram limitadas. O uso do número do CNPJ como identificador corporativo único garante a reprodutibilidade do conjunto de dados (**Tabela S2**), pois permite que outros pesquisadores acessem os mesmos registros oficiais utilizados para identificar e localizar as empresas analisadas neste estudo.

2.2.5. Identificação dos principais setores industriais e produtos

As atividades econômicas das biofábricas podem ser classificadas de diversas maneiras, dependendo dos objetivos analíticos e das definições setoriais [**9** , **29**]. Neste estudo, adotamos uma abordagem heurística em vez de taxonômica. As biofábricas foram classificadas com base na descrição de sua principal atividade econômica, conforme registrada em registros públicos oficiais (CNPJ), na natureza predominante dos produtos processados e em informações complementares obtidas nos sites institucionais das biofábricas.

Como algumas biofábricas podem operar em mais de um segmento de produção, a classificação adotada aqui reflete o produto predominante de cada biofábrica. Portanto, as categorias visam resumir os principais tipos de transformação industrial identificados nas fontes de informação analisadas (**Tabela 1**), e não servir como uma classificação formal ou taxonômica do setor bioindustrial.

Com base nessas informações, foram definidas cinco categorias principais: biotecnologia, alimentos, cosméticos, materiais e produtos químicos orgânicos. Especificamente, “produtos químicos orgânicos” e “cosméticos” foram categorizados separadamente para distinguir entre empresas focadas principalmente na produção de matérias-primas a granel (por exemplo, óleos e manteigas vegetais) e aquelas dedicadas à fabricação de produtos acabados para o varejo (por exemplo, loções e sabonetes). Por fim, elaboramos descrições dos principais produtos em cada categoria, com o apoio de referências científicas que contextualizam os setores industriais, os produtos e os ingredientes amazônicos utilizados (**Tabela 2**).

Tabela 2. Categorias industriais e descrições de produtos de biofábricas locais que utilizam a biodiversidade amazônica.

2.2.6. Natureza Jurídica e Situação Operacional das Biofábricas

Identificamos a natureza jurídica e o status operacional das biofábricas consultando o site oficial da Receita Federal do Brasil [**27**], conforme descrito na **Seção 2.2.4** . Cada empresa brasileira possui em seu registro público uma descrição oficial de sua natureza jurídica e status operacional, que foram coletadas e inseridas no conjunto de dados das biofábricas analisadas neste estudo. No entanto, essa informação está oculta no site da Receita Federal [**27**] para biofábricas cujo status operacional é diferente de ativo. Nesses casos, utilizamos a plataforma Econodata para obter esses dados [**48**]. A Econodata já foi utilizada em estudos anteriores para acessar informações sobre status operacional e natureza jurídica em situações semelhantes [**12**]. Quando as informações foram obtidas da Econodata, elas foram utilizadas apenas para acessar os mesmos dados cadastrais associados ao registro do CNPJ, garantindo a consistência entre as duas fontes.

As categorias de status legal foram descritas usando rótulos estabelecidos pela Comissão Nacional de Classificação (CONCLA) do IBGE [49]. As categorias incluem sociedades anônimas fechadas, cooperativas, sociedades de responsabilidade limitada individuais, sociedades de responsabilidade limitada e associações privadas (**Tabela 3**).

Tabela 3. Descrições da situação jurídica das biofábricas segundo a Comissão Nacional de Classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

As categorias de status operacional de biofábricas incluem ativa, fechada e não conforme. Empresas ativas estão em operação regular e cumprem todas as obrigações legais e fiscais. Empresas com status de fechadas tiveram seu registro cancelado devido a falência, dissolução ou outros processos formais de encerramento. Empresas não conformes correspondem a empresas que permanecem formalmente registradas, mas não constam como ativas no registro público. Na interface de consulta pública do registro do CNPJ, essa categoria é exibida como um status categórico e não fornece detalhes adicionais sobre a causa específica da não conformidade (por exemplo, irregularidade fiscal, suspensão ou regularização pendente). Portanto, a classificação adotada aqui segue o status relatado no registro oficial, sem interpretação adicional.

2.2.7. Organização de Metadados

Os dados foram documentados de acordo com os padrões estabelecidos pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade e pelo Projeto Ecológico de Longo Prazo [50 , 51]. Todas as informações necessárias para a compreensão e utilização dos dados foram incluídas nos metadados, incluindo título e resumo, palavras-chave, proprietário dos dados, equipe de suporte, contato e direitos de uso. Os dados da biofábrica registrados no conjunto de dados incluem nome corporativo, nome comercial, número de registro, ano de abertura, principal atividade econômica, natureza jurídica, situação cadastral, principal produto, abrangência geográfica, fonte e data de entrada dos dados (**Tabela S3**). A descrição da tabela de dados foi publicada como um arquivo em formato PDF (Portable Document Format). Os dados foram organizados em uma planilha e exportados em formato CSV (Valores Separados por Vírgula). Todos os conjuntos de dados utilizados neste estudo estão disponíveis nos **Materiais Suplementares** . Esses arquivos permitem que os leitores examinem os dados subjacentes e reproduzam as análises apresentadas neste estudo.

2.2.8. Análise Espacial e Estatística da Distribuição de Biofábricas

A distribuição espacial das biofábricas foi analisada por meio de uma abordagem qualitativa que envolveu a coleta, organização e interpretação das informações resumidas na **Tabela 1** , bem como a avaliação dos dados associados ao número do CNPJ de cada biofábrica identificada. A análise focou na presença ou ausência de biofábricas nos 559 municípios da área de estudo, com especial atenção à variação no número de unidades por município, à representação dos diferentes setores bioindustriais e aos principais produtos processados.

As biofábricas foram mapeadas utilizando o software de sistema de informação geográfica QGIS (versão 3.28), usando o sistema de referência geodésica SIRGAS 2000

(EPSG: 4674) [52]. Arquivos vetoriais em formato shapefile representando os limites da Amazônia e as divisões político-administrativas da área de estudo foram obtidos da plataforma TerraBrasilis—do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [21]—e da RAISG, a Rede Amazônica de Informações Socioambientais Georreferenciadas [53].

A análise estatística seguiu o protocolo de exploração e modelagem de dados descrito por Zuur et al. (2010) para identificar outliers e garantir a integridade do conjunto de dados [54]. De modo geral, este estudo visa principalmente sistematizar e caracterizar biofábricas baseadas na biodiversidade, com a análise estatística fornecendo uma avaliação exploratória dos fatores associados à sua distribuição espacial. Visando explicar apenas a variação na escala da atividade existente das biofábricas, avaliamos se, condicionada à presença de pelo menos uma biofábrica, o PIB municipal explicava a variação na contagem de biofábricas. O PIB foi selecionado como a principal variável explicativa como proxy para escala econômica, potencial de mercado, infraestrutura e conectividade logística.

As análises foram realizadas utilizando o R Core Team (versão 4.4.3) [55], e o script correspondente está disponível nos **Materiais Suplementares (Tabelas S4 e S5)**. Dado que a variável resposta (número de biofábricas) consiste em dados de contagem, modelos lineares generalizados (GLM) foram inicialmente ajustados utilizando uma distribuição de Poisson com função de ligação logarítmica. A sobredispersão foi avaliada calculando-se a razão entre a soma dos quadrados dos resíduos de Pearson e os graus de liberdade residuais. Devido à presença de sobredispersão significativa nos modelos de Poisson, uma distribuição binomial negativa foi adotada, a qual inclui um parâmetro de dispersão (θ) para contabilizar a variância adicional.

O poder preditivo do PIB total e do PIB per capita foi avaliado separadamente para evitar colinearidade, dada a forte correlação entre esses preditores. Ambas as variáveis foram testadas em suas escalas originais e transformadas por logaritmo para levar em conta relações não lineares e melhorar o ajuste do modelo. Para considerar possíveis dependências regionais, os modelos foram estendidos para incluir os estados onde os municípios estavam localizados, seja como um efeito fixo, usando o pacote MASS (versão 7.3-60) [56], ou como um intercepto aleatório em um modelo linear misto generalizado (GLMM), usando o pacote lme4 (versão 1.1.38) [57]. A seleção do modelo foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), seguindo o princípio da parcimônia. Finalmente, a validação do modelo foi conduzida usando o pacote DHARMA (versão 0.4.7) [58] para analisar os resíduos quantílicos simulados, garantindo a ausência de padrões significativos nos resíduos, inflação de zeros e outliers influentes. A figura foi produzida com o pacote ggplot2 (versão 3.4.4) [59].

Por fim, foram realizadas análises de sensibilidade para avaliar a robustez dos resultados, reajustando os modelos binomiais negativos após a exclusão de municípios economicamente extremos (Manaus, Belém e Parauapebas) e, em um segundo teste, de municípios com os maiores valores de PIB. Diagnósticos de influência foram realizados utilizando a distância de Cook para identificar potenciais outliers e avaliar a estabilidade do modelo.

3. Resultados

3.1. Distribuição espacial das biofábricas

Das 467 entradas de biofábricas analisadas (**Tabela S1**), 280 (60%) foram consideradas fora do escopo deste estudo. As fontes consultadas revelaram um total de 187 biofábricas na Amazônia brasileira (**Tabela S2**). A maioria (94%) estava localizada nos estados do Pará e Amazonas, com 100 unidades em 33 municípios no Pará e 76 unidades em 30 municípios no Amazonas. Nos demais estados, o número de biofábricas foi menor: 5

no Acre, distribuídas em 4 municípios; 3 no Amapá, em 2 municípios; 2 no Mato Grosso, em 2 municípios; e 1 em Rondônia. Nos estados do Maranhão, Tocantins e Roraima, nenhuma biofábrica foi encontrada nas fontes consultadas. No total, as 187 biofábricas estavam distribuídas em 72 dos 559 municípios da área de estudo (**Figura 3**).

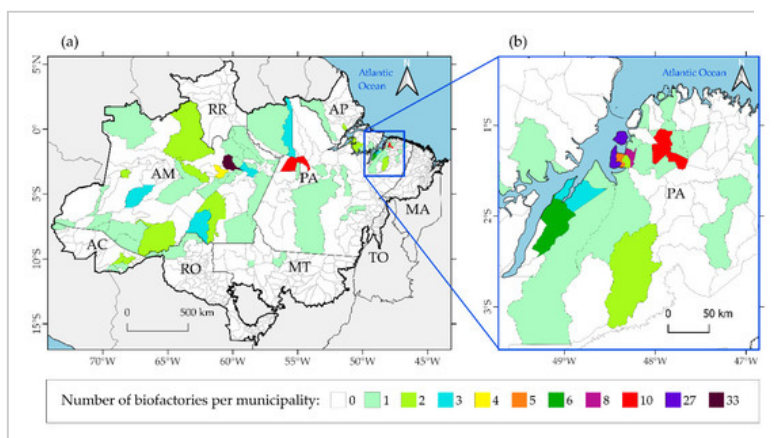


Figura 3. Distribuição espacial das 187 biofábricas identificadas na Amazônia brasileira, localizadas em 72 municípios da área de estudo, (**a**) destacando o número de biofábricas por município em toda a Amazônia brasileira e (**b**) próximo a Belém, Pará. AC = Acre; AP = Amapá; AM = Amazonas; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; PA = Pará; RO = Rondônia; RR = Roraima; TO = Tocantins.

As biofábricas estavam concentradas em alguns municípios específicos (**Figura 3**). Manaus apresentou o maior número de biofábricas identificadas, com 33 unidades, seguida por Belém (27), Castanhal (10), Santarém (10), Benevides (8), Igarapé-Miri (6), Ananindeua (5) e Manacapuru (4), enquanto Abaetetuba, Carauari, Humaitá, Itacoatiara e Óbidos apresentaram 3 cada. Outros 10 municípios apresentaram 2 unidades cada, e 49 municípios apresentaram apenas 1 biofábrica cada. Em contrapartida, não foram encontradas informações sobre biofábricas nas fontes analisadas para 487 municípios.

3.2. Principais setores e produtos industriais

Os dados setoriais apresentados nesta seção refletem a principal classificação atribuída a cada biofábrica com base em seu produto predominante e não representam a diversidade total de produtos que podem ser processados por essas empresas. Na época da pesquisa, em 2024, as biofábricas na Amazônia brasileira operavam principalmente no setor alimentício, com 139 unidades dedicadas à produção de alimentos, o que corresponde a 74% das biofábricas identificadas, distribuídas em 61 municípios. O setor de cosméticos foi o segundo mais prevalente, com 26 unidades (14%) distribuídas em 5 municípios. O setor de produtos químicos orgânicos foi o terceiro mais prevalente, com 17 biofábricas (9%) distribuídas em 14 municípios. O setor de materiais foi representado por 4 biofábricas (2%) distribuídas em 3 municípios diferentes. Por fim, o setor de biotecnologia foi representado por uma única biofábrica, localizada em Manaus (**Figura 4**).

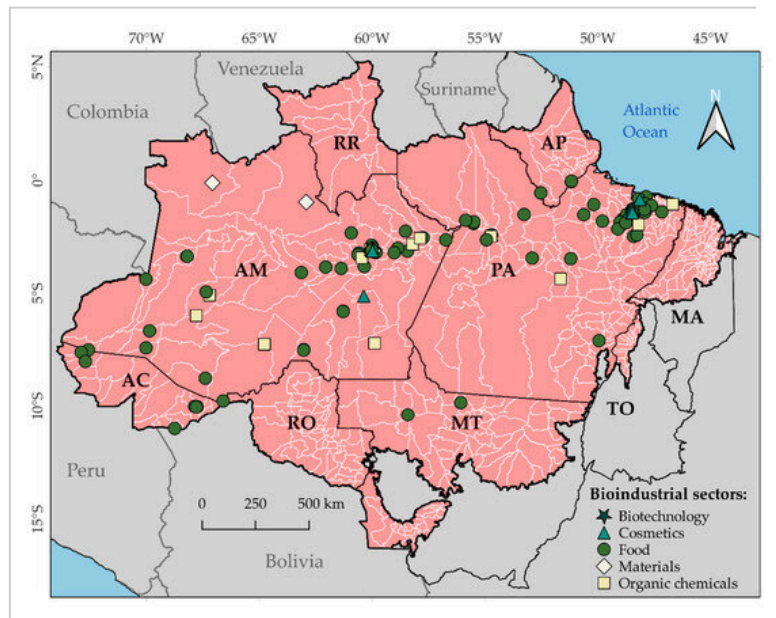


Figura 4. Representação dos setores industriais das 187 biofábricas distribuídas pela Amazônia brasileira. AC = Acre; AP = Amapá; AM = Amazonas; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; PA = Pará; RO = Rondônia; RR = Roraima; TO = Tocantins.

O setor alimentício compreende quatro categorias de produtos neste estudo (**Figura 5** e **Figura 6**). A produção de polpa de frutas representou 87 biofábricas: 62 no Pará, 21 no Amazonas, 2 no Acre, 1 no Amapá e 1 em Rondônia. Outros produtos alimentícios processados — excluindo polpa, castanhas e farinha — foram produzidos por 31 biofábricas, sendo 21 no Amazonas e 10 no Pará. A produção de castanhas — exclusivamente castanha-do-pará — foi o foco de 15 biofábricas: 5 no Amazonas, 4 no Pará, 3 no Acre, 2 no Mato Grosso e 1 no Amapá. A produção de farinha representou 6 biofábricas: 5 no Amazonas e 1 no Amapá.

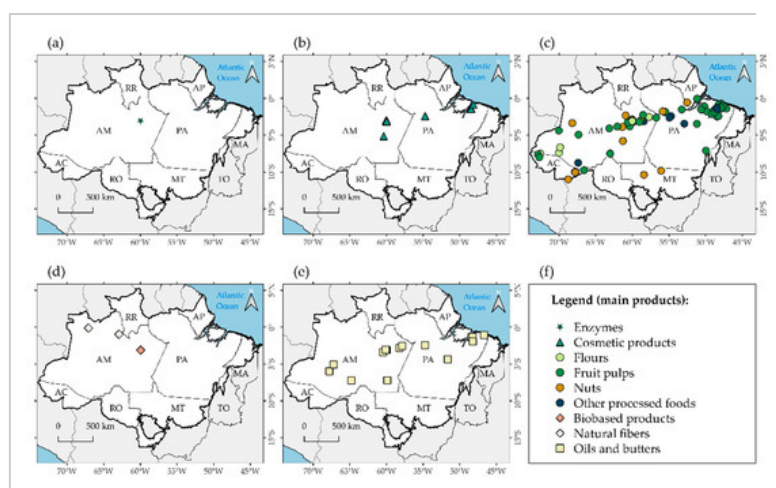


Figura 5. Os principais produtos das 187 biofábricas na Amazônia brasileira. (**a**) Enzimas, (**b**) produtos cosméticos, (**c**) farinhas, polpas de frutas, nozes e outros alimentos processados, (**d**) produtos de base biológica, (**e**) óleos e manteigas vegetais e (**f**) legenda. AC = Acre; AP = Amapá; AM = Amazonas; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; PA = Pará; RO = Rondônia; RR = Roraima; TO = Tocantins.

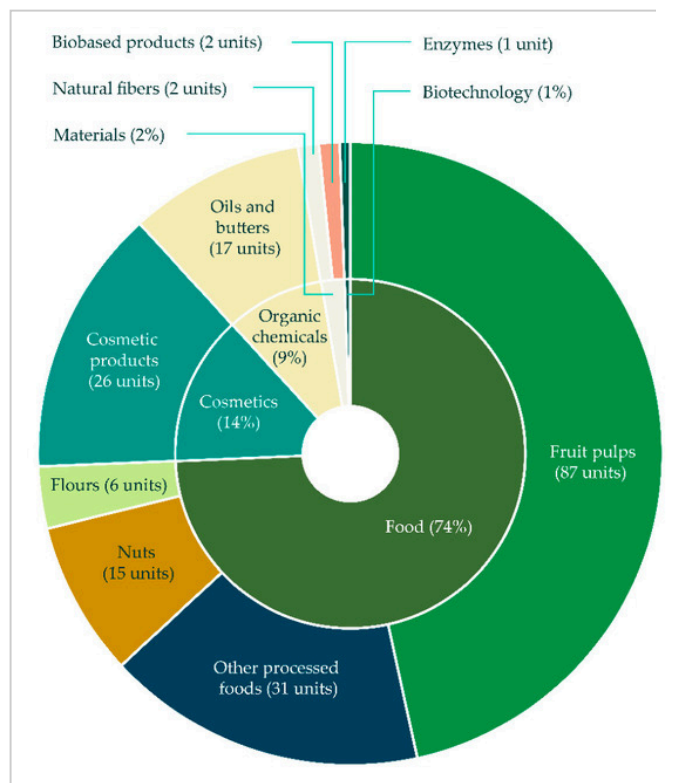


Figura 6. Relações entre os setores industriais (anel interno) e os produtos processados pelas biofábricas (anel externo) na Amazônia brasileira. Para o anel interno, as porcentagens são baseadas no número de biofábricas em cada setor. Para o anel externo, as unidades referem-se ao número de biofábricas em cada categoria.

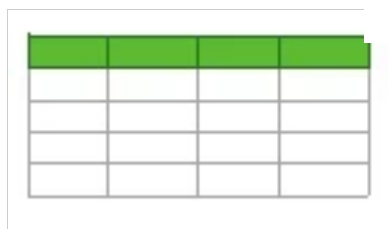
Os setores de cosméticos e de produtos químicos orgânicos foram o segundo e o terceiro mais prevalentes, com 26 e 17 biofábricas, respectivamente, todas localizadas em municípios do Amazonas e do Pará. O setor de cosméticos compreendeu 17 unidades no Pará e 9 no Amazonas. O setor de produtos químicos orgânicos incluiu 10 unidades no Amazonas e 7 no Pará. Os setores de biotecnologia e de materiais tiveram uma presença menor na região, com 1 e 4 unidades, respectivamente.

3.3. Classificação Jurídica e Situação Operacional

A maioria das biofábricas registradas na Amazônia brasileira — 67%, ou 126 do total — eram sociedades de responsabilidade limitada. As classificações seguintes mais comuns foram cooperativas, com 18% (33 unidades), e associações privadas e sociedades de responsabilidade limitada individuais, que representaram 7% do total cada (13 unidades cada). Sociedades anônimas fechadas foram a classificação menos comum, representando apenas 1% (2 unidades).

O status operacional da maioria das biofábricas foi registrado em 2024 e classificado como ativo. Das 187 biofábricas analisadas, 84% (158 unidades), distribuídas por 64 municípios, estavam em operação ativa. Em contrapartida, 7% (13 unidades) das biofábricas, em 10 municípios, constavam oficialmente como fechadas, e 9% (16 unidades), distribuídas por 9 municípios, não estavam em conformidade com os requisitos legais para operação regular. **A Tabela 4** resume a situação legal e operacional dessas biofábricas no momento da pesquisa, em 2024.

Tabela 4. Resumo da natureza jurídica e do status operacional das biofábricas registradas na Amazônia brasileira em 2024.



As 158 biofábricas ativas estavam distribuídas por 94% dos municípios onde as 187 biofábricas foram identificadas. Entre os municípios com o maior número de unidades ativas, Manaus e Belém lideraram, ambos com 24 biofábricas em operação regular, seguidos por Santarém (10 unidades), Castanhal (6), Benevides (6), Igarapé-Miri (5) e Ananindeua (4). Biofábricas fechadas foram registradas em 11 municípios em 2024, sendo que 3 deles — Alta Floresta, Moju e Oriximiná — apresentavam todas as unidades identificadas inativas. Unidades em situação irregular foram encontradas em 9 municípios em 2024, incluindo Manaquiri, onde a única biofábrica identificada estava em situação irregular.

3.4. Relações entre o número de biofábricas e o produto interno bruto

A análise do PIB municipal dos 72 municípios com biofábricas identificadas revelou valores que variam de 83 milhões a 103 bilhões (todos os valores monetários em reais brasileiros – BRL). O PIB médio desses municípios foi de 4,15 bilhões, enquanto a mediana ficou em 606 milhões, refletindo a concentração de riqueza em regiões específicas. Os três municípios com os maiores PIBs foram Manaus (AM), Parauapebas (PA) e Belém (PA) (**Tabela S4**).

O PIB apresentou forte associação com o número de biofábricas nos 72 municípios analisados (**Figura 7**). Dentre todos os modelos candidatos (**Materiais Suplementares**), o modelo linear generalizado (GLM) binomial negativo, incluindo o PIB transformado em logaritmo, apresentou o melhor ajuste (AIC = 257,22). Os modelos que incluíram os estados (UF) como efeitos fixos ou aleatórios não melhoraram substancialmente o desempenho do modelo ($\Delta AIC < 2$), e o modelo de efeitos aleatórios apresentou ajuste singular, indicando variância desprezível entre os estados após considerar o PIB. O coeficiente para $\log(\text{PIB})$ foi positivo e altamente significativo ($\beta = 0,48 \pm 0,06 \text{ SE}$, $z = 7,58$, $p < 0,001$; IC 95%: 0,35–0,60) e pode ser expresso como $\log(E[\text{biofábricas}]) = -5,91 + 0,48 \times \log(\text{PIB})$, indicando que o número de biofábricas aumenta com a escala econômica (**Figura 7**). Em contrapartida, os modelos que incluíam o PIB per capita apresentaram um ajuste substancialmente pior ($\Delta AIC > 30$). Os diagnósticos residuais (DHARMA) não indicaram sobredispersão significativa, inflação de zeros ou outliers, sugerindo um ajuste adequado do modelo.

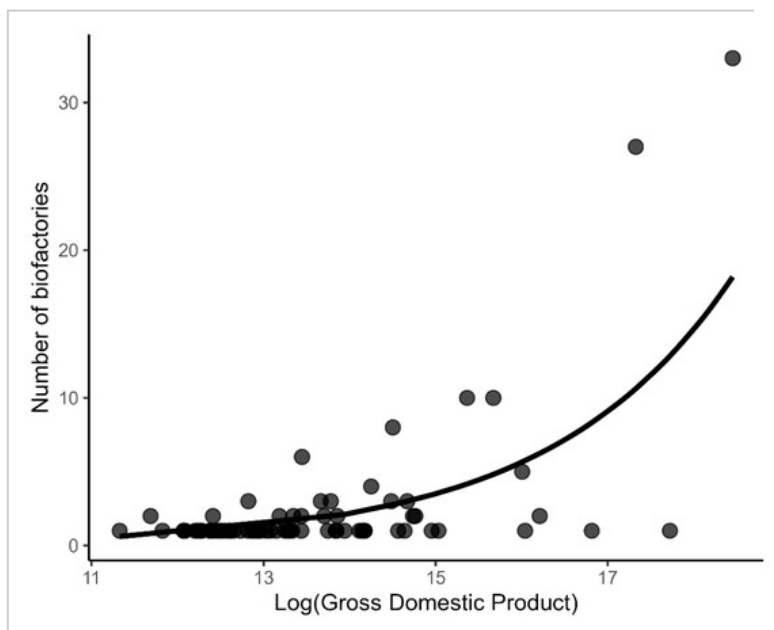


Figura 7. Relação entre o número de biofábricas e o produto interno bruto municipal transformado em logaritmo, em que cada ponto representa um dos 72 municípios onde foram identificadas biofábricas.

Os diagnósticos de influência identificaram um pequeno número de municípios com alavancagem moderada, conforme indicado pela distância de Cook, e o modelo permaneceu estável. As análises de sensibilidade confirmaram que a exclusão dos maiores centros econômicos — Manaus, Belém e Parauapebas — deixou o coeficiente de $\log(\text{PIB})$ praticamente inalterado ($\beta = 0,48$ em ambos os modelos, completo e reduzido). Mesmo após a remoção dos três municípios com os maiores valores de PIB, a relação permaneceu positiva e significativa ($\beta = 0,33$, $p < 0,001$).

4. Discussão

4.1. Localização de biofábricas na Amazônia brasileira

Este estudo oferece uma rara visão qualitativa das biofábricas na Amazônia brasileira, região onde dados estruturados sobre essas indústrias são escassos. A discussão aborda diversas explicações para os padrões observados, com base em dados secundários e literatura. Primeiramente, considera-se a influência do desenho amostral. Em segundo lugar, discute-se o papel potencial do tamanho da população. Em terceiro lugar, aborda-se a eficácia das políticas públicas de descentralização industrial. Em quarto lugar, apresentam-se argumentos sobre como a precariedade da infraestrutura limita a industrialização. Por fim, discutem-se as implicações da ausência de biofábricas, incluindo a persistência da desigualdade econômica, a dependência de intermediários e a incapacidade das comunidades locais de agregar valor além da extração de matéria-prima.

A distribuição geográfica das biofábricas na Amazônia brasileira foi bastante desigual; isso também foi relatado em trabalhos semelhantes com escopo mais limitado. Um levantamento anterior, focado em apenas cinco produtos de biodiversidade e em uma área que abrangia 532 municípios, identificou biofábricas em 11,7% dos municípios [15]. De forma similar, o presente estudo, que considerou todos os produtos de biodiversidade e abrangeu 559 municípios, encontrou biofábricas em 12,9% deles. A similaridade dessas porcentagens sugere que a distribuição geográfica das biofábricas não se deve unicamente ao escopo da pesquisa.

A concentração de biofábricas documentadas foi particularmente acentuada nos estados do Pará e do Amazonas, com seis municípios respondendo por 50% das unidades identificadas, apesar de abrigarem apenas 18% da população total da Amazônia brasileira. Essa concentração espacial sugere um potencial déficit tecnológico em toda a região. Com base nas fontes consultadas, 87% dos municípios amazônicos — que abrigam aproximadamente 14 milhões de pessoas, ou 62% da população total da Amazônia brasileira — não foram identificados como possuindo infraestrutura industrial para o processamento de produtos da biodiversidade. Em quatro estados — Roraima, Rondônia, Maranhão e Tocantins — nenhuma biofábrica foi identificada nos registros disponíveis. No entanto, esses achados devem ser interpretados com cautela; a possibilidade de subnotificação sugere que algumas biofábricas podem operar fora das redes formais de informação, e a presença de estabelecimentos documentados não equivale necessariamente ao acesso efetivo da população.

A identificação de 187 biofábricas documentadas na Amazônia brasileira sugere que este é um setor emergente quando comparado com as empresas industriais convencionais. Em Manaus, município com a maior concentração de biofábricas ($n = 33$), esse número permanece modesto em relação às 553 empresas manufatureiras convencionais que operavam no Polo Industrial de Manaus (PIM) em 2025 [**60**], composto predominantemente por empresas dos setores eletrônico, de motocicletas e químico. Em escala regional, um contraste semelhante surge ao comparar o número total de biofábricas com os 132 frigoríficos em operação na Amazônia brasileira em 2023 [**61**], a maioria dos quais estruturados em torno do processamento de uma única espécie pecuária — o gado, espécie exótica introduzida na região. É importante ressaltar que essas são comparações heurísticas entre setores industriais não equivalentes, com o objetivo de destacar o desequilíbrio estrutural entre iniciativas produtivas diversificadas baseadas na biodiversidade e sistemas consolidados orientados para modelos de produção exóticos e monoculturais.

A concentração geográfica de biofábricas em alguns municípios, conforme indicado pelas fontes analisadas, sugere uma discrepância entre os objetivos das políticas públicas e os resultados observados na Amazônia. Embora as políticas industriais tenham visado a descentralizar a infraestrutura — como no caso do programa lançado em 1994 pela *Superintendência da Zona Franca de Manaus* [**62**] — a infraestrutura tecnológica necessária para processar a biodiversidade amazônica permanece fortemente concentrada em alguns centros urbanos. Essa discrepância entre as intenções das políticas e os resultados reais reflete desafios estruturais de longa data na região. Portanto, a distribuição atual de biofábricas relatada aqui sugere que as políticas industriais tiveram efeito limitado na descentralização da infraestrutura industrial na Amazônia brasileira.

Além disso, Silva (2024) argumenta que a maioria dos municípios amazônicos enfrenta sérias deficiências em infraestrutura, telecomunicações, mobilidade, saúde, segurança, saneamento básico e educação [**29**]. Segundo o IPS Brasil (2024), os indicadores para esses setores nos municípios da área de estudo estão consistentemente abaixo da média nacional [**63**]. Essas limitações reduzem o potencial de atração de investimentos e tornam o interior menos atrativo para profissionais qualificados [**29**].

Com base nas fontes analisadas, a maioria dos municípios da Amazônia brasileira não possui biofábricas documentadas. Essa falta de registros não deve ser interpretada como prova definitiva de ausência, mas pode refletir a infraestrutura industrial limitada na região e a continuidade de relações historicamente exploratórias. Em municípios como Breves e Portel, por exemplo, é comum encontrar comerciantes conhecidos como *atravessadores*. Esses intermediários trocam bens básicos por produtos colhidos pelas populações locais ou impõem preços exorbitantes, muitas vezes abusivos: vendem mercadorias acima do valor de mercado e compram matéria-prima a preços irrisórios [**64**]. Além disso, sem capacidade

de processamento no local ou cadeias de frio confiáveis, certos produtos altamente perecíveis podem não ser comercializáveis, reduzindo a variedade de produtos que as comunidades podem vender. Sem tecnologias que agreguem valor aos seus produtos e sem uma organização social forte, muitas comunidades permanecem presas a esse modelo desigual, que persiste na região há séculos [65].

Por fim, é importante considerar que, de acordo com as fontes analisadas, muitas comunidades e municípios na área de estudo não possuem infraestrutura industrial, mas contam com pessoas que coletam matéria-prima em florestas e rios [65 , 66]. Parte dessa matéria-prima é vendida a intermediários, ao mercado local ou diretamente para biofábricas [65 , 66]. Algumas biofábricas, como a COOPMAS em Lábrea, possuem parcerias com dezenas de organizações em municípios sem biofábricas, como Tapauá e Canutama, e adquirem matéria-prima a preços justos para processamento em suas instalações [67]. Esses exemplos demonstram a existência de fluxos organizados de matéria-prima de comunidades e municípios sem infraestrutura industrial para as biofábricas, onde os produtos são efetivamente processados. Nesses casos, tais biofábricas podem atender áreas e populações maiores do que outras. Uma área importante para estudos futuros será compreender a quantidade de material que flui para as biofábricas identificadas nesta pesquisa e a extensão geográfica de seu abastecimento.

4.2. Interpretação dos principais setores industriais e produtos

Os resultados indicam que as biofábricas do setor alimentício predominam sobre outros setores na Amazônia brasileira, representando 74% das empresas identificadas (**Figura 4** , **Figura 5** e **Figura 6**). A concentração no setor alimentício pode estar associada à abundância de recursos naturais comestíveis [68 , 69], à relativa facilidade de implementação em regiões com pouca infraestrutura e aos baixos requisitos tecnológicos [70]. É importante esclarecer que nossa interpretação segue a taxonomia formal estabelecida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), amplamente aplicada em estudos industriais [16 , 70]. Nesse contexto, os setores industriais são classificados de acordo com a intensidade tecnológica, com base na relação entre investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e o valor agregado na produção [71]. Dentro dessa classificação, as indústrias de processamento de alimentos são tipicamente categorizadas como setor de baixa tecnologia [71].

O setor de cosméticos é o segundo maior da região em número de biofábricas. A produção nesse setor geralmente envolve a combinação de plantas aromáticas frescas ou secas com óleos e manteigas vegetais, resultando em loções, óleos de banho, cremes, sabonetes e outros produtos que passam por transformações relativamente simples [5]. Esse setor é altamente interdependente das biofábricas de óleos e manteigas vegetais, visto que muitas empresas de cosméticos absorvem parcial ou totalmente a produção dessas biofábricas para formular seus produtos [5 , 45]. Notavelmente, 22 das 26 biofábricas de cosméticos identificadas estão localizadas em Belém (13) e Manaus (9), o que sugere que, apesar dos processos relativamente simples envolvidos na transformação desses materiais, o setor necessita de suporte produtivo encontrado em centros urbanos mais desenvolvidos.

O setor químico, focado exclusivamente na produção de óleos e manteigas vegetais, representa o terceiro setor mais prevalente em termos de número de biofábricas. Este setor se baseia no uso da biodiversidade amazônica rica em lipídios, com sementes de espécies como andiroba (*Carapa* spp.), copaíba (*Copaifera* spp.), ucuuba (*Virola* spp.), murumuru (*Astrocaryum* spp.), tucumã (*Astrocaryum* spp.) e cupuaçu (*Theobroma* spp.), por exemplo, sendo amplamente utilizadas na produção de alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos [45 , 72]. No entanto, as biofábricas de óleos e manteigas estão a montante

dessas cadeias produtivas, exigindo baixa intensidade tecnológica e vendendo seus produtos a preços de commodities [5].

O setor de materiais inclui produtos como embalagens feitas de amido de mandioca (*Manihot spp.*) e fibras de sementes de açaí (*Euterpe spp.*), que são apreciadas por sua biodegradabilidade [40]. Outros produtos deste setor incluem fibras de piaçava (*Leopoldinia spp.*) e de cipó-de-titica (*Heteropsis spp.*), utilizadas na produção de tecidos e vassouras [43]. Esses produtos podem ser caracterizados por baixa intensidade tecnológica, uma vez que sua produção não envolve grandes inovações ou processos industriais complexos, mas sim transformações simples com ênfase na sustentabilidade e no uso de recursos naturais locais.

A presença de apenas uma biofábrica no setor de biotecnologia aponta para limitações estruturais no estabelecimento de empresas mais intensivas em ciência e tecnologia. O setor de biotecnologia avançada requer infraestrutura laboratorial especializada em áreas como tecnologia de DNA recombinante, biologia computacional, enzimologia, microbiologia industrial e biotecnologia de fungos filamentosos, entre outras [30 , 73]. Além disso, a integração com centros de pesquisa e políticas públicas para promover a inovação são cruciais para impulsionar o desenvolvimento do setor.

Os resultados sugerem que a maioria das biofábricas na região opera em setores de baixa tecnologia [16 , 70 , 71]. Esse padrão pode ser explicado pela escassez de infraestrutura, investimentos e pessoal qualificado para o desenvolvimento industrial na Amazônia [5 , 29]. Essa situação reflete um cenário comum na América Latina, caracterizado pela baixa prontidão tecnológica em muitas regiões e por setores industriais ainda em desenvolvimento no que diz respeito às aplicações tecnológicas [18]. Em contraste, um estudo realizado na República da Coreia indica que fatores como investimento intensivo em P&D, aquisição de maquinário, desenvolvimento de recursos humanos qualificados e parcerias institucionais são decisivos para o fortalecimento da inovação nas bioindústrias [4].

A concentração de biofábricas em 13% dos municípios estudados, combinada com a predominância de setores de baixa tecnologia, sugere um padrão de industrialização que limita a geração de valor local. Como observado por Abramovay et al. (2021) [74], Garrett, Ferreira et al. (2023) [75] e Adeney, Barata et al. (2024) [8], uma sociobioeconomia baseada em florestas em pé e rios caudalosos requer investimentos em ciência, tecnologia e inovação, além do reconhecimento e valorização do conhecimento local. Os resultados deste estudo, portanto, destacam a necessidade de políticas públicas que promovam a descentralização das capacidades industriais e tecnológicas – incluindo aquelas voltadas para territórios indígenas e áreas protegidas para uso sustentável, para diversificação econômica e para inclusão na Amazônia brasileira.

Por fim, é importante discutir que, embora muitas biofábricas possam ser categorizadas em um único setor industrial, como o alimentício ou o químico, algumas possuem um portfólio diversificado de produtos. Um exemplo é a cooperativa RECA (Associação dos Pequenos Agrossilvicultores do Projeto RECA, Porto Velho/Nova Califórnia, RO, Brasil), que, embora classificada no setor alimentício neste estudo, contribui para quatro agroindústrias: (1) palmito de pupunha (*Bactris spp.*) em conserva, (2) polpa de frutas, (3) óleos e manteigas vegetais e (4) processamento de caroços de pupunha [76]. Da mesma forma, a COOPMAS (Cooperativa Mista Agroextrativista Sardinha, Lábrea, AM, Brasil) foi categorizada no setor químico por sua produção de óleos vegetais, mas também comercializa castanha-do-pará, um produto alimentício [67]. Esses exemplos ilustram a versatilidade de algumas biofábricas amazônicas, que operam em múltiplos setores e produzem diferentes tipos de produtos. Especialmente quando combinada com infraestrutura local adequada de processamento e/ou transporte, uma única biofábrica pode ser capaz de receber e processar diversas culturas relacionadas à biodiversidade,

provenientes de uma ampla área geográfica e de muitos produtores. Modelos como esse, em que algumas biofábricas podem processar produtos de diversas origens, podem ser uma solução para a construção de cadeias de valor confiáveis que gerem renda para muitas comunidades.

4.3. *Natureza Jurídica e Situação Operacional*

Entre as 187 biofábricas identificadas, predominam as sociedades de responsabilidade limitada (67%). Essa distribuição observada é consistente com o papel significativo que os atores empresariais privados desempenham na bioindustrialização regional. Embora as cooperativas (18%) e as associações privadas (7%) desempenhem um papel estratégico na inclusão socioeconômica das comunidades locais [43 , 65 , 67 , 76], a prevalência de estruturas jurídicas privadas destaca o papel central do empreendedorismo individual e corporativo na configuração atual do setor.

4.4. *Relação entre biofábricas e Produto Interno Bruto Municipal*

Os padrões observados indicam que a escala econômica desempenha um papel central na configuração da distribuição espacial das biofábricas. Em vez de estarem distribuídas aleatoriamente pela região, os resultados indicam que, entre os municípios com biofábricas documentadas, os municípios economicamente mais ricos tendem a abrigar um número substancialmente maior de biofábricas. Isso sugere que a concentração da atividade bioindustrial depende de condições econômicas preexistentes que viabilizem a produção, a comercialização e a integração tecnológica. Os processos subjacentes ao estabelecimento inicial das biofábricas estão além do escopo da presente análise.

A associação mais forte com o PIB municipal total, em comparação com o PIB per capita, reforça a ideia de que o tamanho econômico absoluto importa mais do que os níveis médios de renda. Municípios com economias maiores tendem a oferecer melhor infraestrutura, maior acesso ao mercado, mais recursos financeiros e maior capacidade institucional. Essas condições são essenciais para apoiar atividades produtivas e inovação tecnológica [16 , 29].

A contribuição insignificante da variação a nível estadual sugere ainda que as fronteiras administrativas subnacionais, por si só, não explicam a distribuição das empresas. Em vez disso, a organização econômica local e as condições a nível municipal parecem ser mais decisivas na estruturação da geografia do setor.

Essa interpretação é consistente com a dinâmica industrial descrita por Gotardo et al. (2024) [16]. Os autores mostram que a intensificação tecnológica e a atividade industrial tendem a se concentrar em economias de aglomeração localizadas em regiões com maior PIB. Os municípios de Manaus, Itacoatiara e Manacapuru — que ocupam o primeiro, terceiro e quarto lugares no PIB do estado do Amazonas [24], respectivamente — abrigam 40 das 76 biofábricas identificadas (53%). Essa concentração sugere que as atividades bioindustriais se beneficiam da infraestrutura logística, da base industrial e da conectividade de mercado já estabelecidas nesses polos econômicos. Em contraste, municípios como Coari e Parintins, apesar de suas altas classificações de PIB, abrigam apenas uma biofábrica cada, indicando que a escala econômica por si só é insuficiente quando não acompanhada por uma infraestrutura industrial diversificada.

Um padrão semelhante é observado no estado do Pará. Municípios como Belém, Ananindeus, Santarém, Castanhal, Benevides, Igarapé-Miri e Ananindeua abrigam o maior número de biofábricas. Esses municípios ocupam, respectivamente, o terceiro, sexto, sétimo, nono, vigésimo e quinquagésimo segundo lugar [77], entre os 144 municípios do estado em termos de PIB. O caso de Parauapebas é particularmente ilustrativo. Embora tenha o maior PIB do Pará, impulsionado principalmente pela mineração, possui apenas

uma biofábrica identificada. Esse contraste destaca uma nuance importante: o que importa não é apenas a magnitude econômica, mas a natureza e a composição da atividade econômica. Economias extrativistas centradas em commodities em larga escala não geram necessariamente efeitos indiretos favoráveis ao desenvolvimento bioindustrial.

Em conjunto, esses padrões reforçam a compreensão de que as biofábricas estão inseridas em ecossistemas produtivos mais amplos. Sua distribuição reflete não apenas a escala econômica, mas também a disponibilidade de infraestrutura, a integração da cadeia de suprimentos, as capacidades tecnológicas e o apoio institucional. Do ponto de vista das políticas públicas, isso representa um desafio estrutural para as estratégias de bioeconomia na Amazônia. Sem investimentos deliberados voltados para o fortalecimento da capacidade industrial, do acesso ao crédito e da infraestrutura técnica em municípios fora dos centros econômicos consolidados [8 , 78], a bioindustrialização pode continuar a reproduzir as desigualdades territoriais existentes, em vez de servir como um caminho transformador para as regiões mais periféricas.

4.5. Limitações dos dados e resultados

Esta pesquisa identificou 187 biofábricas na Amazônia brasileira, com base em fontes documentais e no conhecimento acumulado pelos autores (**Tabela 1**). Embora este trabalho represente um esforço de sistematização inédito e relevante, é possível que biofábricas não identificadas na área de estudo operem fora das fontes formais e redes de informação disponíveis. A ausência de um conjunto de dados públicos consolidado, a baixa visibilidade institucional de algumas dessas biofábricas e as dificuldades de acesso a áreas remotas limitaram a possibilidade de se obter uma visão completa. Além disso, é importante reconhecer a possibilidade de erros ou dados incompletos nas fontes analisadas, bem como interpretações imprecisas por parte dos autores, o que pode ter levado a uma subestimação do número de biofábricas abrangidas por esta pesquisa.

Adicionalmente, observou-se uma diversidade significativa de produtos, com produtos de diferentes setores industriais sendo processados, por vezes, na mesma biofábrica. Essa característica apresenta desafios para a classificação setorial. A decisão metodológica de categorizar cada biofábrica de acordo com seu principal produto simplificou a diversidade real da produção. Além disso, é necessário considerar que o foco da produção de uma biofábrica pode mudar ao longo do tempo em resposta à dinâmica do mercado e às mudanças na demanda. Consequentemente, análises futuras que adotem critérios de classificação diferentes ou que expandam o foco para além do principal produto da biofábrica podem alcançar resultados parcialmente diferentes.

Portanto, o panorama da bioindustrialização na Amazônia é mais dinâmico e complexo do que o apresentado neste estudo. As fontes analisadas (**Tabela 1**) não incluíram, por exemplo, fábricas na cadeia produtiva de madeira nativa [79], onde são produzidos bens de alto valor agregado [80]. Outro caso é o da COOPMAS, uma cooperativa sediada em Lábrea com relações de apoio comercial com extrativistas e agricultores de Canutama e Tapauá [67], municípios sem infraestrutura industrial. Esses casos ilustram as limitações dos dados e a diversidade de arranjos produtivos não contemplados neste estudo.

5. Conclusões

De modo geral, a bioindústria amazônica segue padrões estabelecidos de aglomeração econômica. Este estudo fornece evidências estatísticas de que, entre os municípios com biofábricas identificadas, o número de unidades está positivamente associado ao PIB municipal. Ao mesmo tempo, a presença documentada de biofábricas permanece concentrada em alguns centros urbanos, como Manaus, Belém, Santarém, Benevides e

Castanhal. Para a maioria dos municípios, nenhuma biofábrica foi identificada nas fontes consultadas, sugerindo uma possível falta de infraestrutura tecnológica necessária para o processamento de produtos baseados em biodiversidade. A predominância de biofábricas de baixa intensidade tecnológica reforça esse desequilíbrio estrutural. Embora a biodiversidade esteja amplamente distribuída pela região, a capacidade de processamento não o é. Essa assimetria sugere que a desigualdade territorial na capacidade de processamento é uma potencial restrição estrutural à expansão geográfica da bioindústria na Amazônia brasileira.

Os resultados sugerem que uma parcela significativa da população da Amazônia brasileira pode não ter acesso direto à infraestrutura industrial para o processamento de matérias-primas de base biológica em seus municípios. Sem investimentos direcionados em infraestrutura e tecnologia — e sem apoio institucional público e privado — a expansão do setor industrial baseado na biodiversidade dificilmente alcançará escala ou reduzirá as disparidades territoriais. Além disso, a existência de diversas unidades fechadas ou não conformes indica desafios para garantir que essa rede produtiva na Amazônia continue a crescer e se fortalecer.

Estudos futuros são necessários para aprofundar nossa compreensão das biofábricas amazônicas, incluindo a atratividade econômica e a dinâmica competitiva do setor, por meio de estruturas como a análise das Cinco Forças de Porter [81] e a visão baseada em recursos [82]. Por exemplo, seria útil conhecer as quantidades de produto que essas fábricas processam, a área de terra que utilizam e o número de pessoas que sustentam. Além disso, estudos de campo são essenciais para complementar e desenvolver ainda mais essa linha de pesquisa emergente, potencialmente identificando empresas que operam atualmente fora das redes formais de informação. Finalmente, estudos futuros podem usar os conjuntos de dados apresentados nesta pesquisa (**Tabelas S1–S5**) para expandir o escopo da análise para outros países amazônicos, contribuindo para uma compreensão mais completa e integrada da bioindustrialização na Amazônia.

Materiais suplementares

As seguintes informações complementares podem ser baixadas em: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/su18115468/s1> , Tabela S1: Entradas analisadas; Tabela S2: Conjunto de dados de biofábricas; Tabela S3: Metadados do conjunto de dados; Tabela S4: Conjunto de dados para análise estatística; Tabela S5: Metadados para o conjunto de dados da análise estatística.

Contribuições dos autores

Conceitualização: DOB e CAN; metodologia: DOB e JA; análise formal: DOB, CDR, JA e PACLP; investigação: DOB, GS e LESB; recursos: CAN; curadoria de dados: DOB; redação – preparação do rascunho original: DOB e JA; redação – revisão e edição: DOB, JA, JMA, GS, LESB, CDR e CAN; supervisão: CAN. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Declaração do Comitê de Revisão Institucional

Não aplicável.

Declaração de Consentimento Informado

Não aplicável.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Os dados estão contidos nos **Materiais Suplementares** .

Agradecimentos

Agradecemos a Lívia Naman (LN) e Camilo Tomazini Pedrollo (CTP) por gentilmente fornecerem as fotografias utilizadas neste estudo: **Figura 2** a,c (LN) e d (CTP). Agradecemos também aos revisores anônimos por seus comentários construtivos, que contribuíram para a melhoria da qualidade da pesquisa.

Conflitos de interesse

A autora J. Marion Adeney era funcionária da empresa Conservation X Labs. Os demais autores declaram que a pesquisa foi conduzida sem qualquer relação comercial ou financeira que pudesse ser interpretada como um potencial conflito de interesses.

Referências

- Guayasamín, JM; Ribas, CC; Carnaval, AC; Carrillo, JD; Hoorn, C.; Lohmann, LG; Riff, D.; Ulloa Ulloa, C.; Albert, JS Evolução da Biodiversidade Amazônica: Uma Revisão. *Acta Amaz.* **2024** , *54* , e54bc21360. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Nobre, CA; Sampaio, G.; Borma, LS; Castilla-Rubio, JC; Silva, JS; Cardoso, M. Uso da terra e riscos de mudanças climáticas na Amazônia e a necessidade de um novo paradigma de desenvolvimento sustentável. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2016** , *113* , 10759–10768. [**Google Scholar**] [**CrossRef**] [**PubMed**]
- Smanski, MJ; Aristidou, A.; Carruth, R.; Erickson, J.; Gordon, M.; Kedia, SB; Lee, KH; Prather, D.; Schiel, JE; Schultheisz, H.; et al. Níveis de prontidão para fabricação bioindustrial (BioMRLs) como uma estrutura compartilhada para medir e comunicar a maturidade dos processos de fabricação de bioprodutos. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **2022** , *49* , kuac022. [**Google Scholar**] [**CrossRef**] [**PubMed**]
- Yeon, JH; Jang, S. A relação entre o desempenho da bioindústria e a capacidade de inovação — com foco na bioindústria coreana. *Sustentabilidade* **2023** , *15* , 7116. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Barata, LES A Economia Verde: Amazônia. *Ciência. Culto.* **2012** , *64* , 31–35. [**Google Scholar**] [**CrossRef**] [**Versão Verde**]
- Garrett, R.; Ferreira, J.; Abramovay, R.; Brandão, J.; Brondízio, E.; Euler, A.; Pinheiro, D.; Porro, R.; Cabrera Rocha, E.; Sampaio, O.; e outros. Mudanças transformadoras são necessárias para apoiar a sociobioeconomia das pessoas e dos ecossistemas na Amazônia. *Nat. Eco. Evol.* **2024** , *8* , 1815–1825. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

- Nobre, I.; Nobre, CA. A Iniciativa da Terceira Via da Amazônia: O Papel da Tecnologia para Revelar o Potencial de uma Nova Economia Tropical Baseada na Biodiversidade. Em *Uso da Terra — Avaliando o Passado, Visualizando o Futuro*, 1ª ed.; Loures, LC, Ed.; IntechOpen: Londres, Reino Unido, 2018; Volume 1, pp. 183–213. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Adeney, JM; Barata, LES; de Assis Costa, F.; Baptista, B.; Brandão, DO; Vélez, BJ; Koch-Weser, M.; Oliveira, G.; Rogez, H.; dos Santos e Silva, DF; e outros. *Uma Rede de Centros de Ciência, Tecnologia e Inovação para Catalisar Sociobioeconomias Regenerativas para a Região Amazônica*; Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável — SDSN: Nova Iorque, NY, EUA, 2024; pág. 24. [**Google Acadêmico**]
- Mafra, RZ; Lasmar, DJ; Junior, DCV A classificação da bioindústria amazonense. In *Estudos da Bioindústria Amazonense: Sustentabilidade, Mercado e Tecnologia*, 1ª ed.; Mafra, RZ, Medeiros, RL, Eds.; FUA: Manaus, Brasil, 2021; Volume 1, pp. [**Google Acadêmico**]
- Brandão, DO Desmatamento na Amazônia e Influência nos Produtos Florestais Não-Madeireiros de Uso Econômico Local. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brasil, 2023. [**Google Scholar**]
- Melo, SSC; Melo, ASC O Registro de Marca Dos Exportadores de Açaí no Pará. *Rev. Sem. Acad.* **2021**, *9*, 1–27. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Oliveira, R.; Lasmar, DJ; Mafra, RZ; Kieling, AC; Albuquerque, ACRDQ; Oliveira, LGP; Oliveira, SDS Mapeamento das empresas e institutos de pesquisas que utilizam a biotecnologia Industrial no Estado do Amazonas. *Peer Rev.* **2023**, *5*, 157–176. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Mafra, RZ; Zanotto, SP; Medeiros, RL; Astolfi-Filho, S.; Hiragi, CO; de Fátima Mendes Acácio Bigi, M.; da Mota Pontes, I. Sistema de Busca de Dados Bionorte: Aproximando, de Forma Colaborativa, as Pesquisas Acadêmicas e a Bioindústria Amazônica. *Rev. Empreendedorismo Inov. Tecnol.* **2017**, *4*, 171–186. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Mafra, RZ; Lasmar, DJ; Júnior, DCV. Relações interorganizacionais na indústria de biotecnologia da Amazônia com base nas percepções dos empreendedores. *J. Contemp. Adm.* **2019**, *23*, 672–695. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Brandão, DO; Barata, LES; Nobre, I.; Nobre, CA Os efeitos do desmatamento da Amazônia sobre produtos florestais não madeireiros. *Reg. Meio Ambiente. Alterar* **2021**, *21*, 122. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Gotardo, D.; Staduto, J.; Pontili, RM; Mourão, PR. Dinâmica industrial nas mesorregiões brasileiras: a relevância da intensidade tecnológica. *Rev. Reg. Res.* **2024**, *44*, 429–455. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Nações Unidas. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*; A/RES/70/1; Nações Unidas: Nova York, NY, EUA, 2015. [**Google Scholar**]
- Sasson, A.; Malpica, C. Bioeconomia na América Latina. *Nova Biotecnologia.* **2018**, *40*, 40–45. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

- Albert, J.; Hoorn, C.; Malhi, Y.; Phillips, O.; Encalada, AC; Hecht, S.; Varese, M.; Peña-Claros, M.; Roca, FA. *Os múltiplos pontos de vista da Amazônia: limites geográficos e significados*; Painel Científico para a Amazônia; SDSN: Nova York, NY, EUA, 2021; pp. 1–5. [**Google Scholar**]
- IBGE (Vegetação Brasileira). Disponível online: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/10872-vegetacao.html> (acessado em 10 de julho de 2024).
- INPE (Downloads—Terrabrasilis). Disponível online: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/> (acessado em 10 de julho de 2024).
- IBGE (Atualiza Limites Municipais no Mapa da Amazônia Legal). Disponível online: <http://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news-agency/news/30975-ibge-atualiza-limites-de-municipios-no-mapa-da-amazonia-legal-2> (acessado em 10 de julho de 2025).
- IBGE (Panorama do Censo 2022). Disponível online: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> (acessado em 10 de maio de 2025).
- IBGE (Produto Interno Bruto dos Municípios). 2021. Disponível online: <https://cidades.ibge.gov.br/pesquisas> (acessado em 22 de fevereiro de 2026).
- Bionorte (Banco de Dados da Bionorte). Disponível online: <http://bancodedados.bionorte.org.br/home.bd> (acessado em 9 de novembro de 2023).
- Lima, SPM A bioeconomia e o biocossmético na metrópole Manaus/AM—Tempo, território, redes de reprodução do capital na Amazônia. *Contribuir. LAS Ciência. Soc.* **2024** , *17* , 599–619. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Brasil (Receita Federal): Emissão de Comprovante de Inscrição e de Situação Cadastral. Disponível online: https://solucoes.receita.fazenda.gov.br/servicos/cnpjreva/cnpjreva_solicitacao.asp (acessado em 17 de março de 2025).
- Google Maps. Disponível online: <https://maps.google.com> (acessado em 14 de junho de 2025).
- Silva, MLA Biobusiness x cidades: Desafios amazônicos no contexto de uma nova matriz de desenvolvimento econômico: Desafios amazônicos no contexto de uma nova matriz de desenvolvimento econômico. *Inf. Gepec* **2024** , *28* , 77–98. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Pimentel, PSS-R.; de Oliveira, JB; Astolfi-Filho, S.; Pereira, N. Hidrólise enzimática de biomassa lignocelulósica usando um coquetel enzimático otimizado preparado a partir de secretomas de fungos filamentosos isolados da biodiversidade amazônica. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2021** , *193* , 3915–3935. [**Google Scholar**] [**CrossRef**] [**PubMed**]
- Torres, LDFB; Cruz, JN. Produtos naturais da Amazônia utilizados pela indústria cosmética. Em: *Descoberta e desenvolvimento de fármacos utilizando produtos naturais* , 1ª ed.; Cruz, JN, Ed.; Springer Nature: Cham, Suíça, 2023; Volume 1, pp. 525–537. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Gonçalves, Deputado; Soliani, RD; de Oliveira, DA; Bastos, RC; Júnior, GCF; de Miranda Pereira, PV Produção de Farinha de Mandioca Tipo Milito na Amazônia Brasileira: Uma Revisão Sistemática. *Rev. Gest. Soc. Ambiente.* **2023** , *17* , e03294. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

- Pires, MB; Amante, ER; Lopes, AS; da Cruz Rodrigues, AM; Silva, LHM da Farinha de Palmeira de Pêssego (*Bactris Gasipae* Kunth): Aplicação Potencial na Indústria Alimentar. *Food Sci. Technol.* **2019** , *39* , 613–619. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Virgolin, LB; Seixas, FRF; Janzantti, NS Composição, conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante de polpas de frutas do bioma amazônico brasileiro. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2017** , *52* , 933–941. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Barbosa-Carvalho, APP; da Silva Pena, R.; Chisté, RC Polpas de Cupuaçu e Bacuri Secas no Forno como Recursos Alimentares Amazônicos. *Recursos* **2024** , *13* , 153. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Yang, J. Castanhas-do-pará e benefícios associados à saúde: uma revisão. *LWT—Food Sci. Technol.* **2009** , *42* , 1573–1580. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Freire, MTD; Petrus, RR; Gatti, JAB; Leite, MFB; Kunitake, MT; Freire, CMDA Interação Alimentos-Embalagens sobre a Estabilidade do Purê de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) Adoçado em Conserva. *Rev. Caatinga* **2016** , *29* , 1006–1014. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Lamarão, CV; Leão, JM; Soares, KRM; Pieri, FA Frutas Amazônicas: Biodiversidade, Regionalismo e Subprodutos Artesanais e Industriais em Processos de Fermentação. Em *Alimentos Fermentados da América Latina* , 1ª ed.; Penna, ALB, Nero, LA, Todorov, SD, Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, EUA, 2017; pág. 17. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Barone, AS; Matheus, JRV; de Souza, TSP; Moreira, RFA; Fai, AEC. Embalagens ativas de base ecológica: oportunidades além da COVID-19, aplicações alimentares e perspectivas na economia circular — uma breve revisão. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2021** , *20* , 4881–4905. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Matheus, JRV; de Farias, PM; Satoriva, JM; de Andrade, CJ; Fai, AEC. Filmes de amido de mandioca para embalagens de alimentos: tendências na última década e pesquisas futuras. *Int. J. Biol. Macromol.* **2023** , *225* , 658–672. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Lira-Guedes, AC; Silva-Júnior, JNN; do Rosário, BC; Maciel, SPO; Guedes, MC Inventário de cipó-titica para subsidiar o manejo da espécie. In *Produtos Florestais Não Madeireiros: Tecnologia, Mercado, Pesquisas e Atualidades* , 1ª ed.; Evangelista, WV, Ed.; Editora Científica Digital: São Paulo, Brasil, 2021; Volume 1, pp. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Plowden, C.; Uhl, C.; de Assis Oliveira, F. A ecologia e o potencial de colheita das raízes da trepadeira Titica (*Heteropsis flexuosa* : Araceae) na Amazônia Oriental Brasileira. *For. Ecol. Manag.* **2003** , *182* , 59–73. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Guimarães-Júnior, JC; de Andrade Miranda, IP; Lasmar, DJ; Silva, MLA *O Extrativismo da Piaçava (Leopoldinia piassaba Wallace) no Município de Barcelos—AM* , 1ª ed.; Atena Editora: Paraná, Brasil, 2021; páginas 1–134. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- da Silveira, PHPM; Cardoso, BFAF; Marchi, BZ; Monteiro, SN Fibras Naturais da Amazônia para Aplicação em Compósitos de Engenharia e Ações Sustentáveis: Uma Revisão. *Eng* **2024** , *5* , 133–179. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Vidal, TDCS; de Albuquerque Ribeiro Simão, MO; de Almeida, VF A sustentabilidade da produção de óleos e manteigas vegetais na comunidade amazônica-RESEX Médio Juruá. *Res. Soc. Dev.* **2021** , *10* , e32710313478. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

- dos Santos Costa, MNF; Muniz, MAPA; Negrão, CAB; da Costa, CEF; Lamarão, MLN; Morais, L.; Silva Júnior, JOC; Ribeiro Costa, RM Caracterização do Óleo de Pentaclethra Maculoba. *J. Term. Anal. Calorim.* **2014** , *115* , 2269–2275. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- da Silva, BSF; Ferreira, NR; Chisté, RC; Alves, CN. Determinação de compostos bioativos no óleo de buriti por modelos de predição através da espectroscopia de infravermelho médio. *Food Anal. Methods* **2024** , *17* , 1359–1372. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Econodata Plataforma de Geração de Leads B2B. Disponível online: <https://econodata.com.br/> (acessado em 10 de julho de 2025).
- IBGE (Comissão Nacional de Classificação-CONCLA). Disponível online: <https://concla.ibge.gov.br/> (acessado em 10 de maio de 2024).
- Fegraus, EH; Andelman, S.; Jones, MB; Schildhauer, M. Maximizando o valor dos dados ecológicos com metadados estruturados: uma introdução à linguagem de metadados ecológicos (EML) e princípios para a criação de metadados. *Bull. Ecol. Soc. Am.* **2005** , *86* , 158–168. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Pezzini, F.; Alves De Melo, PH; Silva De Oliveira, DM; Xavier De Amorim, R.; Gouvêa De Figueiredo, FO; Pignatari Drucker, D.; De Oliveira Rodrigues, FR; Zuquim, G.; Emílio, T.; Capellotto Costa, FR; e outros. Sistema de Informação do Programa Brasileiro de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio). *Biodiversos. Eco.* **2012** , *4* , 265–274. [**Google Scholar**] [**CrossRef**] [**Versão Verde**]
- Recursos do QGIS. Disponível online: <https://qgis.org/resources/hub/> (acessado em 10 de julho de 2025).
- Dados cartográficos da RAISG. Disponível online: <https://www.raisg.org/en/maps/> (acessado em 10 de julho de 2023).
- Zuur, AF; Ieno, EN; Elphick, CS. Um protocolo para exploração de dados para evitar problemas estatísticos comuns. *Methods Ecol. Evol.* **2010** , *1* , 3–14. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Equipe principal do R. *R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística* ; Fundação R para Computação Estatística: Viena, Áustria, 2025. [**Google Scholar**]
- Venables, WN; Ripley, BD *Estatística Aplicada Moderna com S* , 4ª ed.; Springer: Nova York, NY, EUA, 2002. [**Google Scholar**]
- Bates, D.; Mächler, M.; Bolker, B.; Walker, S. Ajuste de modelos lineares de efeitos mistos usando lme4. *J. Stat. Softw.* **2015** , *67* , 1–48. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Hartig, F. *DHARMA: Diagnóstico Residual para Modelos de Regressão Hierárquica (Multinível/Mista)* ; R Foundation for Statistical Computing: Viena, Áustria, 2022. [**Google Scholar**]
- Wickham, H. Ggplot2. *WIREs Comput. Stat.* **2011** , *3* , 180–185. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- SUFRAMA PIM Quebra Recorde Histórico com Faturamento de R \$ 227,6 Bilhões em 2025. Disponível online: <https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/noticias/pim-quebra-recorde-historico-com-faturamento-de-r-227-6-bilhoes-em-2025> (acessado em 23 de fevereiro de 2026).

- IMAZON. *Transparência da carne bovina na Amazônia brasileira: Resultados 2023* ; IMAZON: Belém, Brasil, 2023. [**Google Scholar**]
- SUFRAMA. *Superintendência da Zona Franca de Manaus. Programa de Interiorização de Indústrias Estratégicas* ; SUFRAMA: Amazonas, Brasil, 1994. [**Google Acadêmico**]
- Wilm, M.; Santos, D.; Veríssimo, B.; Mosaner, M.; Seifer, P.; Marangoni, S.; Coelho, L.; Silva, C.; Albuquerque, R.; Vilhena, A.; e outros. *Resumo Executivo: Índice de Progresso Social do Brasil 2024* , 1ª ed.; IMAZON: Belém, Brasil, 2024; páginas 1–50. [**Google Acadêmico**]
- Leite, DC *Relações de trabalho e exploração capitalista na Amazônia. Agrícola. Família. Pesqui. Forma. E Desenvolv.* **2020** , *13* , 83–102. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Tomasi, A. *Cadeia de Valor da Castanha do Brasil no Município de Lábrea/AM* ; Instituto Internacional de Educação do Brasil-IEB: Brasília, Brasil, 2016. [**Google Scholar**]
- Neto, JM; de Freitas, RS *Estudo das Cadeias Produtivas de Oleaginosas* , 1ª ed.; IDESAM: Manaus, Brasil, 2021; págs. 1–47. [**Google Acadêmico**]
- de Sousa Silva, LD; Pinheiro, JOC; dos Santos, EM; da Costa, JI; Meneghetti, GA *O cooperativismo como instrumento para a autonomia de comunidades rurais da Amazônia: A experiência dos agricultores extrativistas do município de Lábrea, AM. Bol. Asoc. Internacional Direito Coop.* **2019** , 199–226. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Schultes, RE *Diversas plantas comestíveis nativas do noroeste da Amazônia. Acta Amaz.* **1977** , *7* , 317–327. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Clement, CR; dos Santos Pereira, H.; Vieira, ICG; Homma, AKO *Desafios para uma bioeconomia amazônica brasileira baseada em alimentos florestais. Trees For. People* **2024** , *16* , 100583. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Medeiros, RL; Santos, G. da *Industrialização na Amazônia brasileira. RDE – Rev. Desenvolv. Economia.* **2010** , *12* , 97–111. [**Google Acadêmico**]
- Furtado, AT; Carvalho, RdQ *Padrões de investigação tecnológica da indústria brasileira: Um estudo comparativo com os países centrais. Perspectiva São Paulo.* **2005** , *19* , 70–84. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Bezerra, CV; da Cruz Rodrigues, AM; de Oliveira, PD; da Silva, DA; da Silva, LHM. *Propriedades tecnológicas de óleos e gorduras amazônicas e suas aplicações na indústria alimentícia. Food Chem.* **2017** , *221* , 1466–1473. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Fasim, A.; More, VS; More, SS. *Produção em larga escala de enzimas para usos biotecnológicos. Curr. Opin. Biotechnol.* **2021** , *69* , 68–76. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Abramovay, R.; Ferreira, J.; de Assis Costa, F.; Erlich, M.; Euler, AMC; Jovem, CEF; Kaimowitz, D.; Moutinho, P.; Nobre, I.; Rogez, H.; e outros. *Capítulo 30: Oportunidades e desafios para uma bioeconomia saudável de florestas e rios caudalosos na Amazônia. No Relatório de Avaliação da Amazônia 2021* , 1ª ed.; Nobre, CA, Encalada, A., Anderson, E., Roca Alcazar, FH, Bustamante, M., Mena, C., Peña-Claros, M., Poveda, G., Rodriguez, JP, Saleska, S., et al., Eds.; Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável da ONU (SDSN): Nova Iorque, NY, EUA, 2021; Volume 3, pp. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

- Garrett, R.; Ferreira, J.; Abramovay, R.; Brandão, J.; Brondízio, E.; Euler, A.; Pinheiro, D.; Porro, R.; Rocha, CE; Sampaio, O.; e outros. *Apoio à sociobioeconomia de florestas em pé e rios caudalosos saudáveis na Amazônia* ; Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável: Nova Iorque, NY, EUA, 2023; pág. 12. [**Google Acadêmico**]
- da Cunha Ribeiro, VA; Bernardes-de-Souza, D.; da Costa, MCA; Alves, SSCC Produção de Novidades e Conhecimento Contextual no Projeto RECA em Rondônia. *Rev. Adm. Contemp.* **2025** , 28 , e240192. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- FAPESPA. *Relatório PIB Municipal – Pará 2021* ; FAPESPA: Belém, Brasil, 2023; pág. 68. [**Google Acadêmico**]
- Wagner Cardoso, Estratégias RMS para impulsionar a participação do setor industrial no PIB e conter a desindustrialização no Brasil. *J. Hunan Univ. Nat. Sci.* **2025** , 52 , 171–190. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Krainovic, PM; Brandão, DO; Resende, AF; Schöns, SZ; Munhoz, L.; Metzger, JP; Nascimento, NC; Rodrigues, RR; Brancalion, PHS; Guillemot, J.; e outros. Restrições Atuais para Conciliar Restauração de Florestas Tropicais e Bioeconomia. *Sustentar. Ciência.* **2025** , 20 , 219–229. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- de Souza, DJ; Soliani, RD; de Lima Junior, FB; de Souza Oliveira, PR; Drumond, TDR. Da extração à comercialização: uma análise da cadeia de suprimentos de madeira na Amazônia Legal brasileira. *Rev. JRG Estud. Acadêmicos* **2023** , 6 , 1206–1229. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Porter, ME. As cinco forças competitivas que moldam a estratégia. *Harv. Bus. Rev.* **2008** , 86 , 78–93. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]
- Barney, J. Recursos da empresa e vantagem competitiva sustentada. *J. Manag.* **1991** , 17 , 99–120. [**Google Scholar**] [**CrossRef**]

Aviso/Nota do Editor: As declarações, opiniões e dados contidos em todas as publicações são de exclusiva responsabilidade dos autores e colaboradores individuais, e não da MDPI e/ou dos editores. A MDPI e/ou os editores se eximem de qualquer responsabilidade por danos a pessoas ou bens decorrentes de ideias, métodos, instruções ou produtos mencionados no conteúdo.
