

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**COMPLEXIDADE E DESENVOLVIMENTO NA AMAZÔNIA: UMA  
ALTERNATIVA BIOECONÔMICA COM BASE NO  
ESPAÇO-PRODUTO DO PARÁ**

**MATEUS DE MELO NUNES GUIMARÃES**

**ORIENTADOR: ANDREI DOMINGUES CECHIN**

**COORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE  
ALVES**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**MAIO/2021**

**BRASÍLIA/DF, MAIO DE 2021**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**OMPLEXIDADE E DESENVOLVIMENTO NA AMAZÔNIA: UMA**  
**ALTERNATIVA BIOECONÔMICA COM BASE NO**  
**ESPAÇO-PRODUTO DO PARÁ**

**MATEUS DE MELO NUNES GUIMARÃES**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

**APROVADA POR:**

---

**ANDREI DOMINGUES CECHIN (FACE/UnB)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES (ENC/UnB)**  
**(COORIENTADORA)**

---

**JOAQUIM JOSÉ GUILHERME ARAGÃO (ENC/UnB)**  
**(EXAMINADOR)**

---

**MATHEUS SCHIMELING COSTA (FACE/UnB)**  
**(EXAMINADOR)**

**Brasília/DF, 21 de maio de 2021**

dc de Melo Nunes Guimarães, Mateus  
COMPLEXIDADE E DESENVOLVIMENTO NA AMAZÔNIA: UMA  
ALTERNATIVA BIOECONÔMICA COM BASE NO ESPAÇO-PRODUTO DO PARÁ  
/ Mateus de Melo Nunes Guimarães; orientador Andrei  
Domingues Cechin; co-orientador Conceição de Maria  
Albuquerque Alves. -- Brasília, 2021.  
60 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Ambiental) --  
Universidade de Brasília, 2021.

1. Complexidade Econômica. 2. Espaço Produto. 3.  
Bioeconomia. 4. Amazônia. 5. Pará. I. Domingues Cechin,  
Andrei, orient. II. Albuquerque Alves, Conceição de Maria,  
co-orient. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família por me apoiar nas minhas escolhas profissionais e por possibilitar que os estudos fossem o foco principal dessa etapa de minha vida.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação e tornaram esse estudo possível. Em especial ao meu orientador, Andrei Cechin, que apresentou em classe conceitos econômicos ambientais e ecológicos que me despertaram o interesse para fazer esse estudo.

A todos os meus amigos com os quais compartilhei momentos de diversão, estudos e reflexões, que tornaram incrível esse período da minha vida.

Aos meus chefes e companheiros de trabalho que agregaram tanto às minhas habilidades profissionais, acadêmicas, interpessoais e pessoais.

Sou grato a todos por terem feito parte do meu processo de desenvolvimento como pessoa e Engenheiro Ambiental.

Quando trabalhamos com a natureza em vez de tentar impor nossa vontade, frequentemente a solução é encontrada no problema.

David Holmgren

## **ABSTRACT**

The economic development model adopted by the countries is related to the quantity of natural resources used for their domestic production. As more sophisticated the productive capacities of a region are, fewer natural resources are needed to generate value. This higher added value of the products is indirectly converted into social benefits such as higher per capita income, job growth and infrastructure development. With a lesser quantity of natural resources necessary to maintain the surplus current account balance, it becomes easier to keep the extraction of resources within the support capacity of the environment, maintaining the ecosystem balance. The bioeconomy is a production model, based on the use of biological resources produced within the support capacity of the environment, which also promotes the valorization of natural resources, through the reuse of waste and the exploration of new materials and products. This study aims to assess whether the bioeconomy can be adopted as a way of promoting productive sophistication and reducing the pressure of the economic model on the environment. The location chosen for this assessment is the Amazon biome, which represents 49% of the Brazilian territory and has long been the object of attention, for its natural riches that inspire the collective imagination around the world. The search for development involves making the best possible use of the resources available in the economic, social and environmental spheres.

## RESUMO

O modelo de desenvolvimento econômico adotado pelos países tem relação direta com a quantidade de recursos naturais utilizados pela sua produção interna. Quanto mais sofisticada forem as capacidades produtivas de uma região menor a quantidade de recursos naturais necessários para se gerar valor. Esse maior valor agregado dos produtos se converte indiretamente em benefícios sociais como maior renda per capita, crescimento de empregos e desenvolvimento da infraestrutura. Ao passo que com uma menor quantidade de recursos naturais necessário para se manter a balança de conta corrente superavitária torna-se mais fácil manter a extração de recursos dentro da capacidade suporte do ambiente, mantendo o equilíbrio ecossistêmico. A bioeconomia é um modelo de produção, baseado no uso de recursos biológicos produzidos dentro da capacidade suporte do ambiente, que também promove a valorização dos recursos naturais, através do reaproveitamento de resíduos e exploração de novos materiais e produtos. Esse estudo tem como objetivo avaliar se a bioeconomia pode ser adotada como forma de promover a sofisticação produtiva e reduzir a pressão do modelo econômico sobre o ambiente. O local escolhido para essa avaliação é o bioma amazônico, que representa 49% do território brasileiro e a muito tempo é objeto de atenção, por suas riquezas naturais que inspiram o imaginário coletivo ao redor do mundo. A busca por desenvolvimento passa por fazer o melhor uso possível dos recursos disponíveis nos âmbitos econômico, social e ambiental.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Metodologia geral do estudo.....	3
Figura 2- Espaço-Produto global. Cada círculo representa um produto e as ligações entre eles indicam a complementariedade e proximidade entre seus fatores de produção. O tamanho de cada círculo retrata o valor do volume total produzido e as cores determinam o setor produtivo (fonte: MIT LAB, 2017).....	5
Figura 3 - Gráfico referente ao ano de 2016 de PIB per capita, em escala logarítmica, por Índice de Complexidade Econômica, em escala linear. O tamanho do círculo de representação de cada país indica a soma do valor de suas respectivas importações e exportações para o dado ano (fonte: OEC, 2021). .....	7
Figura 4 - Localização da estrutura produtiva para diferentes regiões do mundo. Os produtos para os quais a região possui um $RCA > 1$ são indicados por quadrados pretos (fonte: " The Product Space Conditions the Development of Nations", Cesar Hidalgo et al, 2007). .....	9
Figura 5 - Gráfico sobre relação entre PIB, em azul, Consumo Doméstico de Materiais, em vermelho e Pegada Material, em verde (fonte: Wiedmann et al, 2013). .....	11
Figura 6 - Conversão de biomassa em produtos de valor agregado: pirâmide de valor de mercado versus volume de produção. (fonte: "Journal of Bioresources and Bioproducts", Goodell, 2020). .....	13
Figura 7 - Área desmatada do bioma amazônico no período de 1985 a 2019 .....	15
Figura 8 - TreeMap de exportações do Brasil no ano de 2017. As cores indicam os setores produtivos e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: DataViva, 2021). .....	16
Figura 9 - Espaço-produto do Brasil para o ano de 2017. As cores representam o setor ao qual o produto faz parte e o tamanho dos círculos representa o valor exportado de cada produto (fonte: DataViva, 2021). .....	18
Figura 10 - Área de floresta versus área de pastagem no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021). .....	20
Figura 11 - Área de floresta versus área de cultivo de soja no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021). .....	21
Figura 12 - Área de floresta versus área ocupada por todas as outras atividades antrópicas, incluindo área urbana, no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021). .....	21
Figura 13 - TreeMap de exportações da Região Norte para o ano de 2013. As cores indicam a complexidade de produto e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: DataViva, 2021). .....	23
Figura 14 - TreeMap de importações da Região Norte para o ano de 2013. As cores indicam a complexidade de produto e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de importações (fonte: DataViva, 2021). .....	24
Figura 15 - Gráfico em linha da balança comercial de bens da Região Norte, de valor total comercializado por ano, para a série histórica de 1997 a 2018. A linha azul representa as exportações e a vermelha as importações (fonte: DataViva, 2021). .....	25



Figura 16 - Gráfico em linha da balança comercial de bens da Região Norte, de peso total comercializado por ano, para a série histórica de 1997 a 2018. A linha azul representa as exportações e a vermelha as importações (fonte: DataViva, 2021).....	26
Figura 17 - TreeMap de exportações do Pará no ano de 2020. As cores indicam os setores produtivos e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OCE, 2021).....	28
Figura 18 - TreeMap detalhando parte dos setores de exportações do Pará no ano de 2020. As cores indicam o setor produtivo e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OEC, 2021).....	30
Figura 19 - TreeMap de municípios exportadores de suco de frutas da Região Norte para o ano de 2020. O tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OEC, 2021).....	31
Figura 20 - Valor exportado pelos municípios paraenses com relação aos produtos selecionados. Dados do ano de 2020 fornecidos pela SECEX à OEC (fonte: elaboração própria).....	32
Figura 21 - Espaços-produtos adjacentes ao cacau em grãos, coco, castanha e caju (fonte: DataViva, 2021).....	33
Figura 22 - Espaços-produtos adjacentes ao minério de ferro, óxido de alumínio, carne bovina congelada e soja. (fonte: DataViva, 2021).....	34
Figura 23 - Espaço-produto adjacente ao suco de frutas (fonte: DataViva, 2021).....	35
Figura 24 - Espaço-produto adjacente a outras frutas e nozes processadas (fonte: DataViva, 2021). .....	36
Figura 25 - Espaço-produto adjacentes aos produtos selecionados dos espaço-produto adjacentes de nozes e outras frutas processadas e suco de frutas (fonte: DataViva, 2021).....	37
Figura 26 - Principais frutas produzidas nos municípios de maior representação econômica quanto aos produtos selecionados (fonte: elaboração própria).....	39

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

Bird	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
Cepal	Comissão Econômica para a América Latina e Caribe
CICFPD	Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento
CGEE	Centro de Gestão e Recursos Estratégicos
ECI	Economic Complexity Index
EUA	Estados Unidos da América
FMI	Fundo Monetário Internacional
GDP	Gross Domestic Product
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPBES	Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos
Landsat	Land Remote Sensing Satellite
ME	Ministério da Economia
MIT	Massachusetts Institute of Technology
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCI	Product Complexity Index
PIB	Produto Interno Bruto
PRODES	Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
PUC	Pontifícia Universidade Católica
SPSS	Statistical Package for the Social Science
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
UnB	Universidade de Brasília
UNESP	Universidade Estadual Paulista

WWF

World Wildlife Fund

ZSL

Zoological Society of London

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>RESUMO</b> .....	7
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	8
<b>LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES</b> .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
<b>2.1 COMPLEXIDADE ECONÔMICA</b> .....	4
<b>2.2 BIOECONOMIA</b> .....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	14
<b>3.1 SELEÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO</b> .....	14
<b>3.2 TREEMAP</b> .....	15
<b>3.3 ESPAÇO-PRODUTO</b> .....	16
<b>4 ECONOMIA AMAZÔNICA</b> .....	18
<b>4.1 CONTEXTO HISTÓRICO</b> .....	18
<b>4.2 PROBLEMÁTICA SOCIOAMBIENTAL E ECONÔMICA</b> .....	19
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	28
<b>5.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS DO PARÁ</b> .....	28
<b>5.2 SELEÇÃO DE MUNICÍPIOS COM MAIOR POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DA BIOECONOMIA</b> .....	30
<b>5.3 IDENTIFICAÇÃO DE NOVAS ATIVIDADES BIOECONÔMICAS QUE PODEM SER DESENVOLVIDAS NESSES MUNICÍPIOS</b> .....	32
<b>6 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44
<b>APÊNDICE A - TABELA DE CARACTERÍSTICAS DE PARTE DOS PRODUTOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO</b> .....	48
<b>APÊNDICE B – ESTRUTURAS ANALÍTICAS DE BIORREFINAMENTO LIGNOCELULÓSICO</b> .....	51

# 1 INTRODUÇÃO

A natureza e seus recursos vitais para a manutenção da sociedade moderna estão se deteriorando no mundo todo em um ritmo jamais visto em milhões de anos. A biosfera atua em conjunto com o meio físico (litosfera, atmosfera e hidrosfera) para a manutenção das condições de equilíbrio adequadas para que ela prospere, porém o modo como o homem se organiza e interage com o ambiente está afetando essa estabilidade para além das variações espontâneas (Harding, 2006).

Esses desequilíbrios ecossistêmicos já têm causado efeitos como alteração da dinâmica atmosférica e redução drástica a biodiversidade global, em especial na América Latina com redução de 96% da população de espécies acompanhadas no período de 1970 a 2016. Um dos fatores antrópicos que tem causado mais impactos é o desmatamento, categoria da qual o Brasil foi líder mundial na última década. Esse resultado é consequência principalmente do avanço do cultivo de soja no Cerrado, a savana mais biodiversa do mundo, e da criação de bovinos na Amazônia, a maior floresta tropical e habitat do maior número de espécies do planeta, muitas ainda não conhecidas pela ciência (WWF e ZSL, 2020).

Um fator que contribui para os desequilíbrios ecossistêmicos é o uso de recursos naturais, com finalidades econômicas, acima da capacidade suporte do ambiente, que é a forma e quantidade de recursos que podem ser extraídos sem comprometer a capacidade de regeneração de um determinado ecossistema. Escolhas econômicas de uma região como as atividades econômicas que são desenvolvidas e a forma como essa região se insere no mercado global têm consequências socioambientais, sejam elas negativas ou positivas. Promover alternativas de modelo de desenvolvimento econômico mais adaptadas ao ambiente é o caminho para reverter esses desequilíbrios ecossistêmicos. Esse estudo busca explorar uma dessas alternativas se baseando em dois conceitos econômicos que têm ganhado destaque nas últimas décadas, a complexidade econômica e a bioeconomia.

O conceito de complexidade econômica foi desenvolvido principalmente pelos pesquisadores Ricardo Hausmann e Cesar Hidalgo, para descrever as capacidades produtivas de um local. Quanto mais produtos de difícil fabricação uma região consegue produzir, maior sua complexidade econômica. Essa maior sofisticação produtiva permite um ganho de valor

agregado na produção de uma região, gerando maiores salários, maior coleta de impostos, mais investimentos, entre outros fatores que caracterizam o desenvolvimento econômico. Por meio da análise de diversos produtos e países os autores demonstraram essa forte relação entre o grau de complexidade econômica e o desenvolvimento econômico.

Já quanto a bioeconomia ainda não existe um consenso sobre a sua definição. De forma geral a formulação do conceito desenvolvida nas últimas décadas se baseia no uso de recursos biológicos como fonte de matéria prima renovável. Porém isso não necessariamente significa que atividades de base biológica atuem em equilíbrio com o meio ambiente. Esse é o caso de muitas monoculturas que provam desmatamento, empobrecimento do solo, contaminação do meio por agrotóxicos, entre outros impactos ambientais. Para esse estudo foi adotado o conceito de bioeconomia que leva em consideração a produção dentro da capacidade suporte do meio ambiente quanto a esses impactos, e também considere os aspectos sociais, como condições de trabalho que a atividade econômica envolve.

O objetivo desse estudo é avaliar se é possível promover um aumento de complexidade econômica baseada em atividade bioeconômicas como forma de gerar a transição para uma economia que se adeque à capacidade suporte do meio ambiente. Para isso foi feita uma discussão sobre os conceitos chave e um estudo de caso na Amazônia, uma região palco de vários debates sobre impactos ambientais e muito rica em recursos biológicos. A Figura 1 ilustra as etapas da estratégia empírica.



Figura 1- Metodologia geral do estudo.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 COMPLEXIDADE ECONÔMICA**

A complexidade econômica é a medida da sofisticação do setor produtivo de um determinado local. É uma metodologia baseada no conceito de sistemas complexos e na análise de Big Data de pauta exportadora, fruto de uma parceria entre o Media Lab, do MIT, e a Kennedy School, de Havard. Seu desenvolvimento se deu desde o início do século XXI por meio de diversos artigos de Ricardo Hausmann, Cesar Hidalgo *et al*, que deram origem ao "*The Atlas of Economic Complexity*" de 2014. O atlas reúne extenso material sobre 772 produtos e 144 países em um período de cinquenta anos, iniciado em 1963 (Gala, 2017).

Hidalgo e Hausmann alegam que a sofisticação produtiva depende diretamente dos pré-requisitos dos processos de fabricação. Alguns produtos requerem um alto nível de capacitação e conhecimento produtivo para serem fabricados, levando a uma maior dificuldade de produção. Como o nível de capacidade produtiva que pode ser acumulado por uma pessoa ou firma é limitado, para que bens de mais difícil produção sejam viabilizados é necessária a interação desses agentes e a capacidade de reuni-los em redes produção. As capacidades produtivas de redes locais são bens não transacionáveis uma vez que é extremamente difícil transportá-las. Como não é possível observar diretamente predicados produtivos detidos em determinado local, Hidalgo *et al* (2007) avaliaram dados de comércio discriminados por país, representando assim a complementaridade existente entre os produtos, determinada como espaço-produto (Figura 2).



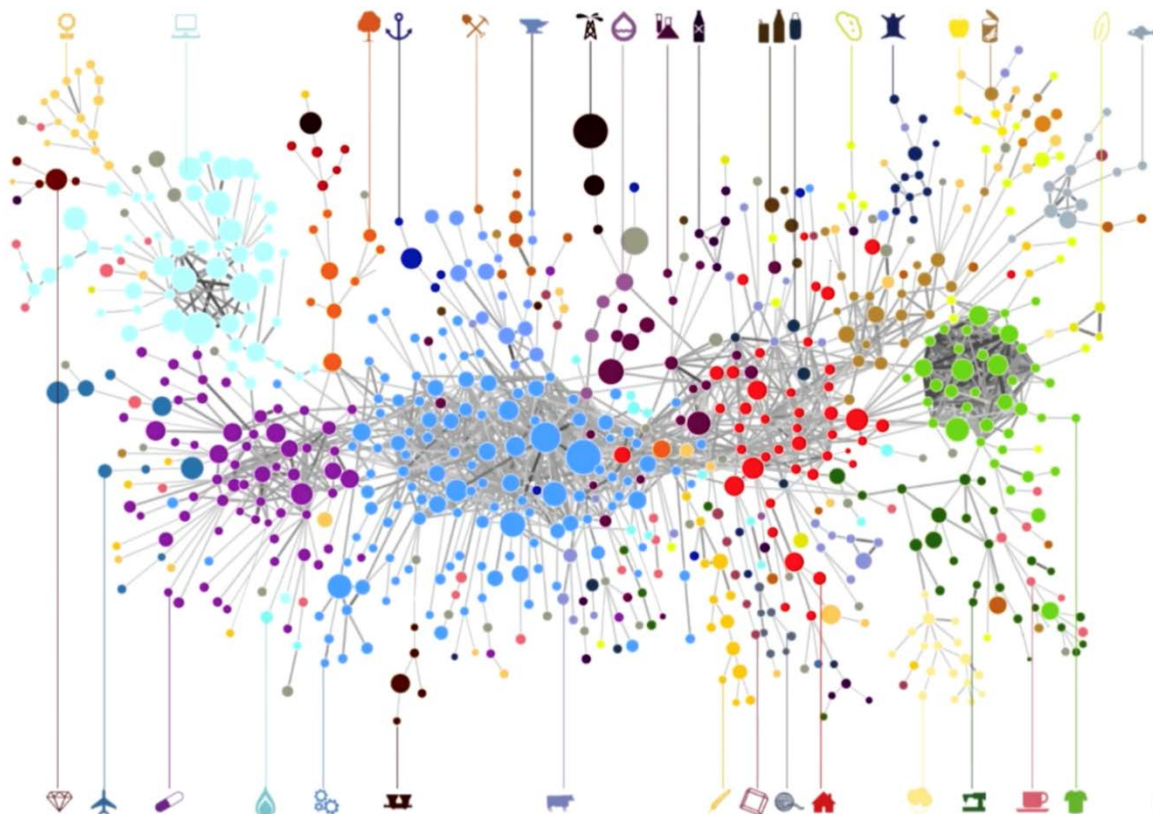


Figura 2 - Espaço-Produto global. Cada círculo representa um produto e as ligações entre eles indicam a complementariedade e proximidade entre seus fatores de produção. O tamanho de cada círculo retrata o valor do valor total produzido e as cores determinam o setor produtivo (fonte: MIT LAB, 2017).

Por meio do espaço-produto Hidalgo *et al* (2007) demonstra como se dão as mudanças no tecido produtivo à medida que uma região se desenvolve. Produtos que possuem maior probabilidade de serem exportados por um mesmo local apresentam requisitos produtivos semelhantes, por exemplo, soja e farelo de soja. Entre possíveis requisitos produtivos Leamer (1984) enfatiza a importância da intensidade de fatores de produção, como mão-de-obra, terra e bens de capital, já Lall (2000) ressalta o nível de sofisticação tecnológica. Nas representações de espaço-produto esses bens de requisitos produtivos mais relacionados aparecem mais próximos ou diretamente conectados. Um ponto interessante na representação

do espaço-produto é que quanto mais conexões um produto ou determinada classe de produtos apresentam, mais requisitos são necessários para fabricá-los e conseqüentemente maior sua complexidade. Por exemplo, a produção de batatas requer menos conectividade de requisitos produtivos que a produção de computadores. Outro ponto é que regiões que produzem bens com muitas conexões apresentam maior facilidade em diversificar seu tecido produtivo e a estrutura produtiva atual de uma região determina sua diversificação produtiva futura, pois é muito difícil passar a produzir bens com os quais não se tem nenhuma proximidade de conhecimento produtivo (UNCTAD, 2005; Garcez, Arend e Giovanini, 2019).

Em 2009 Hidalgo e Hausmann elaboram um indicador capaz de mensurar o nível de complexidade da estrutura produtiva dos países, conhecido como Índice de Complexidade Econômica (ECI), e dos produtos, o Índice de Complexidade do Produto (PCI) (Garcez, Arend e Giovanini, 2019). Para elaboração dos índices foi utilizado o conceito de ubiquidade, o quão comum são os bens produzidos. Essa análise se baseia na ideia de que quanto mais raros são os bens, mais difícil é a sua produção, e conseqüentemente, maior o nível de requisitos produtivos. Aqui é importante ressaltar que a ubiquidade varia com o tempo à medida que determinados conhecimentos produtivos ficam mais acessíveis. Um problema presente nessa análise é a escassez relativa, especialmente de produtos naturais como diamantes e urânio, conforme descreve Paulo Gala em seu livro *Complexidade Econômica - Uma nova perspectiva para entender a antiga questão da riqueza das nações*, de 2017. Para contornar esse problema os autores do *Atlas* compararam a ubiquidade com a diversidade de produtos exportados. Locais que exportam produtos não ubíquos como é o caso de Botsuana, que produz diamantes, porém possuem uma pauta exportadora limitada, são considerados não economicamente complexos. Por outro lado, locais que exportam produtos não ubíquos como a Holanda, que produz aparelhos de raios X e possui uma pauta exportadora diversificada, são considerados economicamente complexos.

Um local que possui uma pauta exportadora diversificada, mas com bens ubíquos, como tecido, carne e minério, não apresenta grande complexidade econômica. Um desses casos é a Argentina, que se encontra numa posição intermediária entre Botsuana e Holanda tanto com relação à diversidade quanto à ubiquidade. Os autores utilizam a diversidade para controlar a ubiquidade e vice-versa. Portanto o Índice de Complexidade de Produto (PCI), baseado nos conceitos de ubiquidade e diversidade, determina que os produtos mais complexos são

aqueles produzidos por poucas regiões que produzem uma grande diversidade de produtos. E o Índice de Complexidade Econômica (ECI) é calculado pela média ponderada dos produtos de uma região, sendo os pesos baseados nas exportações totais. Sendo assim, a complexidade econômica de um local está relacionada com o conjunto de bens e serviços que ele consegue realizar. Quanto maior a complexidade econômica de um local maior o rendimento obtido na comercialização desses bens e serviços. A Figura 3 demonstra essa correlação entre complexidade econômica e renda (Gala, 2017).

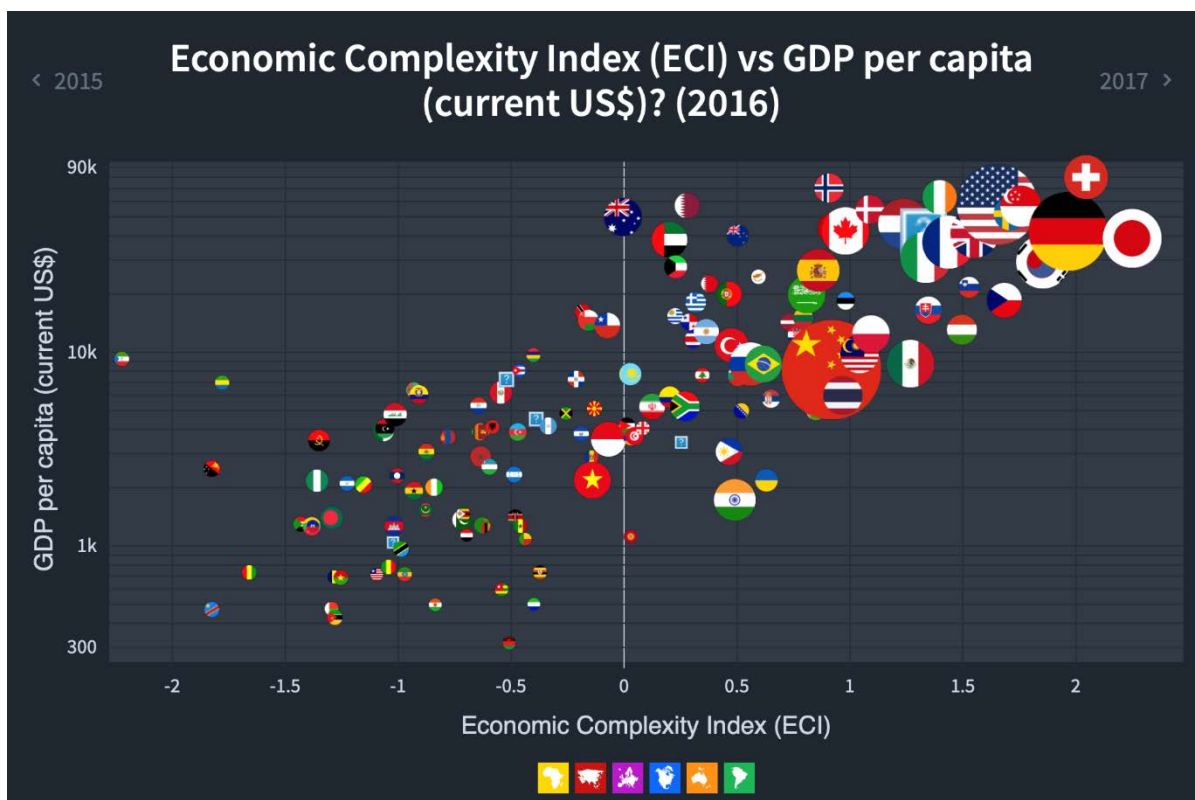


Figura 3 - Gráfico referente ao ano de 2016 de PIB per capita, em escala logarítmica, por Índice de Complexidade Econômica, em escala linear. O tamanho do círculo de representação de cada país indica a soma do valor de suas respectivas importações e exportações para o dado ano (fonte: OEC, 2021).

Segundo Levin R. (2000) a economia da complexidade é considerada uma inversão do espelho da teoria neoclássica. Do ponto de vista da teoria econômica, Metcalfe et al. (2006) destaca que a teoria dos sistemas complexos é sobre conexões, diferente da teoria econômica

neoclássica que se preocupa com os elementos, complementada por suposições muito fortes sobre as conexões. Outro fator que diferencia essas visões é que a economia complexa nunca está em equilíbrio, mas está constantemente sujeita a choques, tanto exógenos como endógenos, que afetam seus movimentos de curto prazo (Maciejczak, 2017).

Como expõe Paulo Gala (2017), o trabalho de Hildalgo e Hausmann *et al* sobre complexidade econômica, que se baseia na análise histórica de uma larga base de dados (possível atualmente graças aos avanços computacionais), daria o suporte teórico mais *hard science* que faltava à visão dos economistas estruturalistas. Os economistas estruturalistas já haviam apontado essa relação entre sofisticação das capacidades produtivas e aumento de emprego, produtividade e renda *per capita*. Além disso, desafiaram a visão neoclássica, como a defendida no Consenso de Washington<sup>1</sup>, a respeito da eficiência do mercado como motor da mudança estrutural necessária ao desenvolvimento econômico, uma vez que o mercado é um ambiente de disputas assimétrico e que favorece a concentração de estruturas produtivas. A corrente estruturalista latino-americana, relacionada principalmente à Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal), ressaltava também os desafios específicos enfrentados pelos países em desenvolvimento em uma economia mundial dividida entre dois polos, "centro" e "periferia" com estruturas produtivas diferentes. A Figura 4 demonstra essa relação entre a sofisticação das capacidades produtivas e o conceito de "centro" e "periferia" da corrente estruturalista latino-americana.

---

<sup>1</sup> Conjunto de trabalhos e resultados de reuniões entre economistas do FMI, do BIRD, e do Tesouro dos Estados Unidos realizadas no início dos anos 90. Dessas reuniões surgiu uma cartilha de recomendações para que os países em desenvolvimento adotassem políticas de abertura dos seus mercados e o "Estado Mínimo" como forma de solucionar os problemas relacionados à crise fiscal.

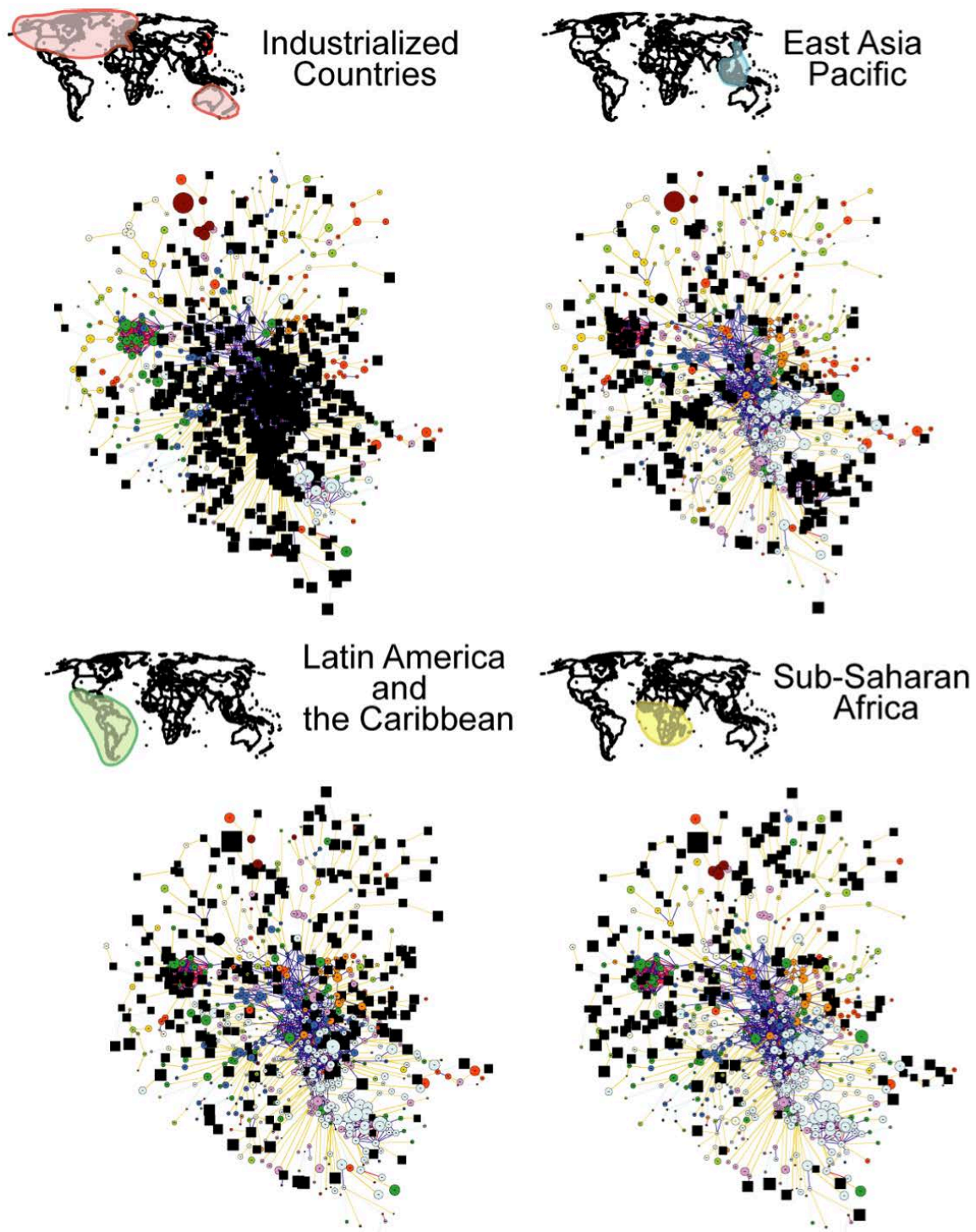


Figura 4 - Localização da estrutura produtiva para diferentes regiões do mundo. Os produtos para os quais a região possui um  $RCA > 1$  são indicados por quadrados pretos (fonte: " The Product Space Conditions the Development of Nations", Cesar Hidalgo et al, 2007).

A ótica da complexidade também pode ajudar na compreensão da relação entre sofisticação produtiva e uso de recursos naturais em países com diferentes níveis de renda, como mostra a pesquisa de Canh *et al.* (2020). Analisando a relação desses fatores da perspectiva de países subdesenvolvidos, em desenvolvimento e desenvolvidos, os autores concluíram que o aumento da complexidade econômica leva à diminuição do uso de recursos naturais totais e que a diminuição do uso de recursos naturais pela complexidade econômica é considerada estatisticamente significativa nos países subdesenvolvidos e desenvolvidos, mas não nos em desenvolvimento.

Segundo eles, é provável que essa redução não seja significativa para os países em desenvolvimento devido ao fato de que os benefícios de melhorar a complexidade econômica não são maiores o suficiente para cobrir a enorme demanda desses países por recursos naturais. Com relação aos subdesenvolvidos um aumento da complexidade econômica poderia ajudar a reduzir a exploração de matérias-primas e aumentaria o desenvolvimento dos setores de manufatura. E nos desenvolvidos, um aumento na complexidade econômica potencializaria ainda mais o empreendedorismo inovador e atividades econômicas que não requerem recursos naturais, para produção nos seus territórios. O que não muda o fato de, apesar de já terem passado pela transição tecnológica dos seus meios produtivos, o consumo nesses países ainda ser dependente da importação de bens de maior intensidade material.

Apesar de o ganho de complexidade econômica diminuir a intensidade material necessária nos processos produtivos, o aumento da renda resulta no geral em padrões de consumo maiores. Os países em desenvolvimento não apresentam uma diminuição na extração de recursos naturais mesmo com ganho de complexidade econômica, pois além de sofrerem pressão pelo crescimento populacional, arcam com grande parte do aumento de demanda de recursos naturais dos países desenvolvidos. A Figura 5 demonstra como à medida que se obtém um crescimento de riqueza e principalmente sofisticação produtiva, ocorre uma tendência de desacoplamento entre o Consumo Doméstico de Materiais (DMC), que traduz a extração de recursos naturais de seu próprio território e a importação líquida de recursos naturais para se produzir no próprio território, e a Pegada Material (MF), que representa o consumo de recursos naturais por sua população independentemente de onde tenham sido extraídos e manufaturados (Wiedmann *et al.*, 2013; WWF, 2020).

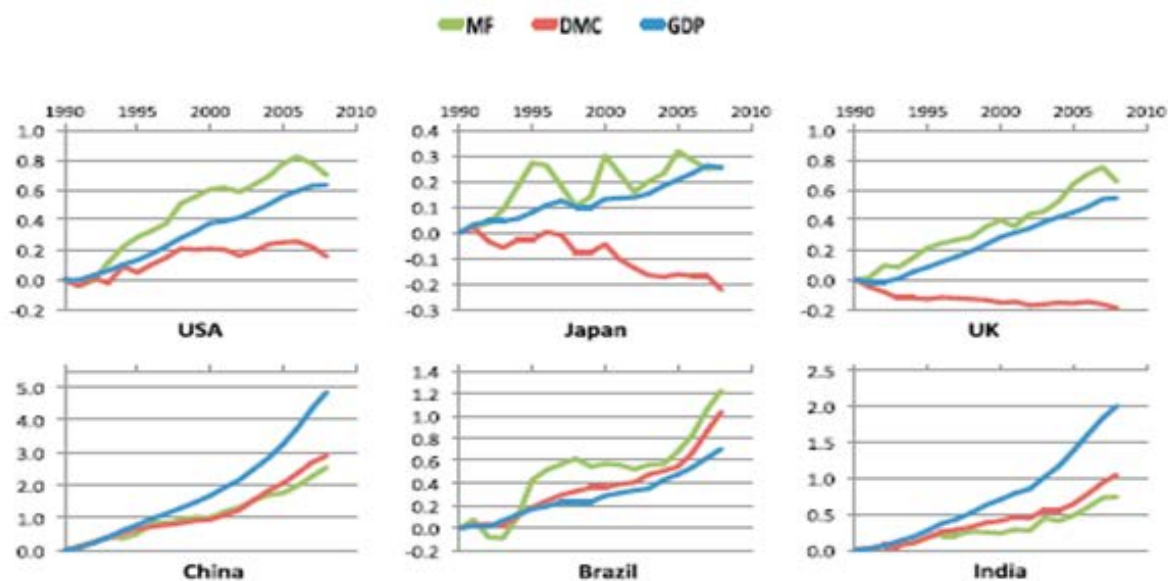


Figura 5 - Gráfico sobre relação entre PIB, em azul, Consumo Doméstico de Materiais, em vermelho e Pegada Material, em verde (fonte: Wiedmann et al, 2013).

## 2.2 BIOECONOMIA

Segundo Beluhova-Uzunova (2019) o termo bioeconomia foi utilizado pela primeira vez no final da década de 1913 pelo biólogo Hermann Reinheime e desde então seu significado tem recebido diferentes contornos. Uma definição ampla e compartilhada pela maioria dos atores dessa discussão é a bioeconomia como uma área que engloba todos os setores e seus serviços relacionados que produzem, processam ou utilizam quaisquer recursos biológicos (biomassa) independentemente de sua forma. Porém existem críticas como o relatório “Biotecnologia industrial — Mais do que combustível verde em uma economia suja?” da WWF (2009) o qual aponta que as abordagens que foram promovidas sob o rótulo de bioeconomia não necessariamente promovem um equilíbrio ambiental. Para esse estudo foi adotado o conceito de bioeconomia que se alinha à Agenda 21, estabelecida na ECO 92, que considera a importância das dimensões econômica, ambiental e social no conceito de desenvolvimento. Sendo assim atividades que utilizem matéria prima biológica, porém sua produção seja de

base predatória, como o cultivo de soja responsável por grandes desmatamentos no Brasil, ou que desrespeite os direitos humanos, como o cultivo de cana-de-açúcar que muitas vezes utiliza mão de obra análoga a escrava, não foram consideradas bioeconômicas.

Com a evolução dos desafios e demandas da sociedade a bioeconomia adotou a ideia da economia circular de aproveitamento de resíduos. A bioeconomia preza pela utilização dos subprodutos de uma indústria por outras, gerando assim menos resíduos e aumentando a eficiência do aproveitamento de recursos naturais. Ao passo que contribui para uma melhor adaptação do sistema econômico ao ambiente, esse encadeamento de processos produtivos por diferentes empresas leva a uma maior complexidade econômica e consequentemente produtos de maior valor agregado, gerando uma valorização dos recursos biológicos. Nas últimas décadas a bioeconomia passou a incorporar também a área da biotecnologia, abrindo caminho para novos usos dos recursos biológicos. Atualmente os recursos biológicos podem ser utilizados para fins energéticos, alimentares, geração de materiais e produtos (Maciejczak, 2017; Birner, 2018).

O processamento de matéria biológica pode ser dividido em duas categorias. A biotransformação compreende o processamento primário em pequena escala, enquanto o biorrefinamento se refere aos processamentos industriais em larga escala. As biorrefinarias requerem um investimento em tecnologia produtiva muito maior, porém seus produtos baseados em química fina podem servir como insumos de altíssimo valor agregado para indústrias de cosméticos, fitofármacos, alimentos nutricionais, têxtil, entre outras indústrias de bens de consumo. O conceito de biorrefinamento é derivado dos avanços da Quarta Onda da ciência química referente à nanoquímica e bioquímica. Essa Quarta Onda começou a se desenvolver de forma mais intensiva na última década e deverá mudar os paradigmas da área como ocorreram com as ondas passadas da petroquímica, carboquímica e química inorgânica. Atualmente os recursos biológicos podem ser utilizados para fins energéticos, alimentares, geração de materiais e produtos. Quanto maior o grau de refinamento necessário menor o volume gerado, porém o valor agregado do produto também é maior (Willerding apud Ribeiro e Cruz, 2020).



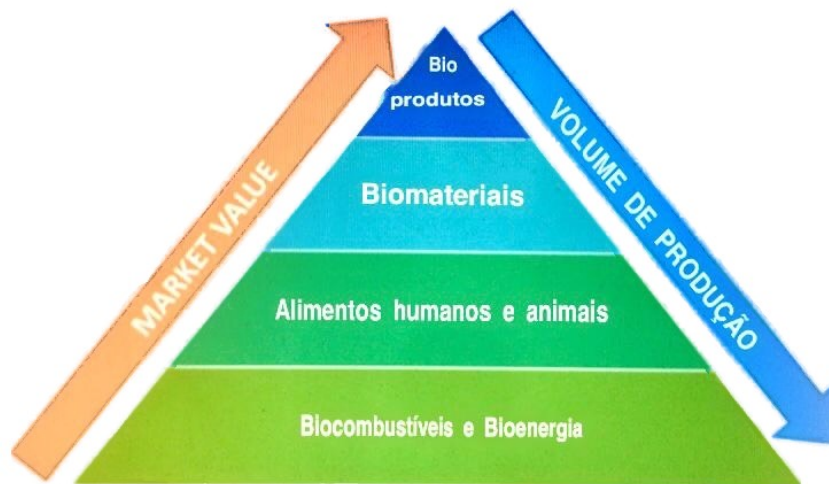


Figura 6 - Conversão de biomassa em produtos de valor agregado: pirâmide de valor de mercado versus volume de produção. (fonte: "Journal of Bioresources and Bioproducts", Goodell, 2020).

O conceito bioeconômico de escalonamento do uso dos recursos, com diferentes firmas utilizando como matéria prima os resíduos gerados por outras, contribui para a complexificação do sistema produtivo, pois são gerados produtos que requerem mais etapas de fabricação e fatores de produção específicos. A enorme quantidade de usos que podem ser dados aos recursos biológicos também contribui para o outro pilar da complexificação econômica que é diversidade. À medida que esse nicho de mercado é ocupado, as capacidades produtivas desse setor são desenvolvidas, o que gera novas oportunidades de expansão do uso de recursos biológicos.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 SELEÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O Pará é o estado com a segunda maior área desmatada do bioma amazônico desde o início do monitoramento na década de 1980, ficando atrás apenas do Mato Grosso. Na última década foi o estado em que o desmatamento mais cresceu e atualmente representa o maior potencial de avanço da degradação da Amazônia uma vez que nos outros estados de desmatamento recorde, Mato Grosso e Rondônia, o efeito de borda<sup>2</sup> tonar o bioma já praticamente devastado. O estado também é o maior exportador de minério do país, responsável por 54% do total exportado em 2019, o que contribui para diversos impactos ambientais na região.

Com relação às *commodities* agrícolas, o cultivo de soja ainda apresenta um impacto de desmatamento incipiente, 441.596 hectares, quando comparado com o impacto do pasto bovino, 20.375.304 hectares, segundo dados do Mapbiomas do período de 1985 a 2019. Porém a produção de soja paraense experimentou o maior crescimento entre todos os estados do país durante os anos de 2000 e 2014 (Villela e Bueno, 2015 apud IBGE, 2014; IBRAM, 2015).

A compreensão de como a complexidade econômica participa do processo de desenvolvimento econômico do Pará e os impactos sociais e ambientais derivados disso é bastante útil para analisar o *trade-off*<sup>3</sup> do avanço desse modelo econômico na Amazônia e identificar alternativas.

---

<sup>2</sup> Consequência do processo de fragmentação territorial da vegetação nativa que deixa a área marginal do habitat mais exposta a fatores não característicos do bioma como luminosidade, umidade, temperatura e espécies exóticas de plantas, animais e microrganismos. Essas alterações podem levar a desequilíbrios ecossistêmicos levando até a extinção da flora e fauna local além de aumentar os riscos de incêndios e epidemias.

<sup>3</sup> Em economia, expressão que define situação de escolha conflitante, isto é, quando uma ação econômica que visa a solução de determinado problema acarreta outros inevitavelmente.

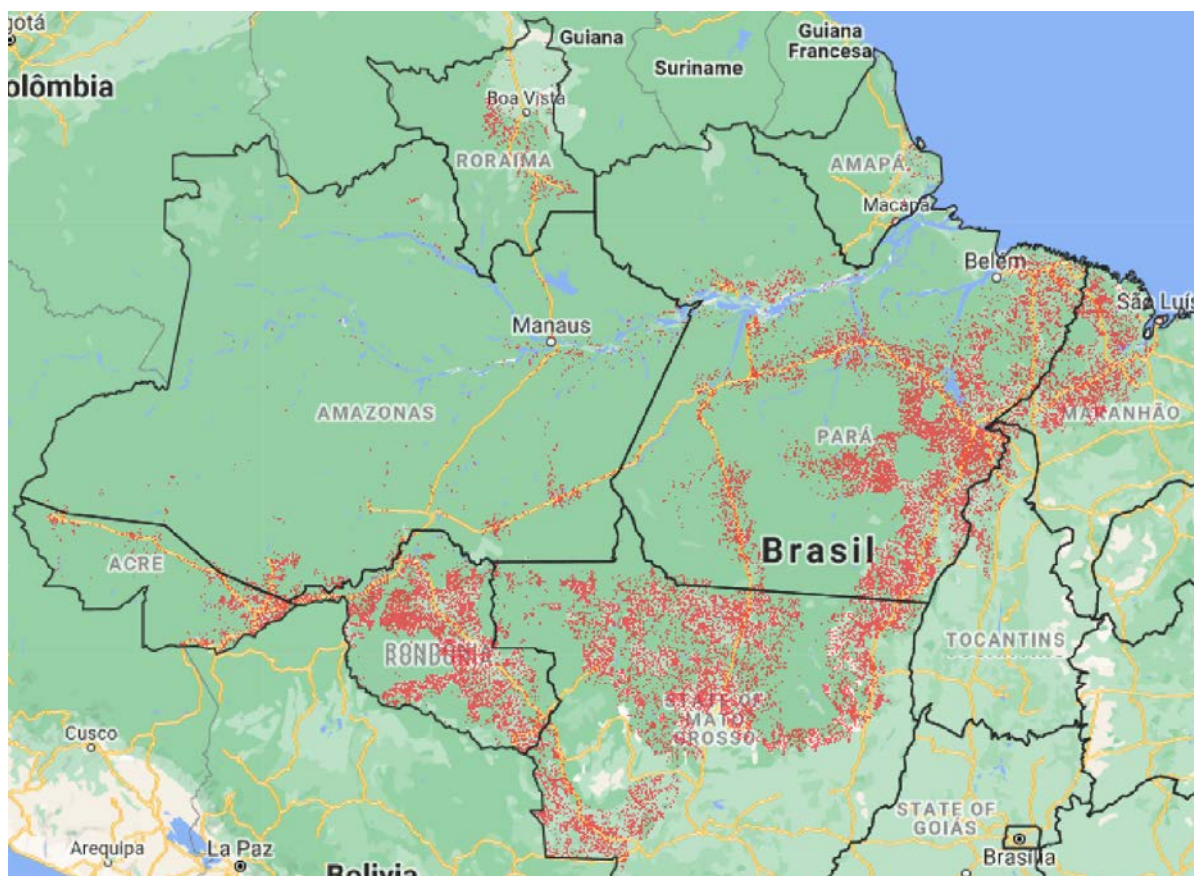


Figura 7 - Área desmatada do bioma amazônico no período de 1985 a 2019

(fonte: MapBiomias - Landsat, 2020).

### 3.2 TREEMAP

O TreeMap é um método para exibir dados hierárquicos usando figuras aninhadas em retângulos. Esse tipo de visualização permite exibir diferentes níveis de hierarquia, representando um retângulo (ramificação) que contém retângulos menores (folhas) no seu interior. O tamanho desses retângulos tem a área proporcional a uma dimensão específica dos dados. Cores também podem ser utilizadas para mostrar uma outra dimensão dos dados, sejam cores diferentes especificando categorias dos dados ou cores em degradê indicando uma hierarquização.

As principais vantagens desse tipo de representação gráfica de dados são a facilidade para se observar uma grande quantidade de dados, a melhor visualização das proporções entre cada parte e o todo, e a melhor identificação de padrões, exceções e colaboradores mais importantes. A Figura 8 exemplifica o uso de um TreeMap.

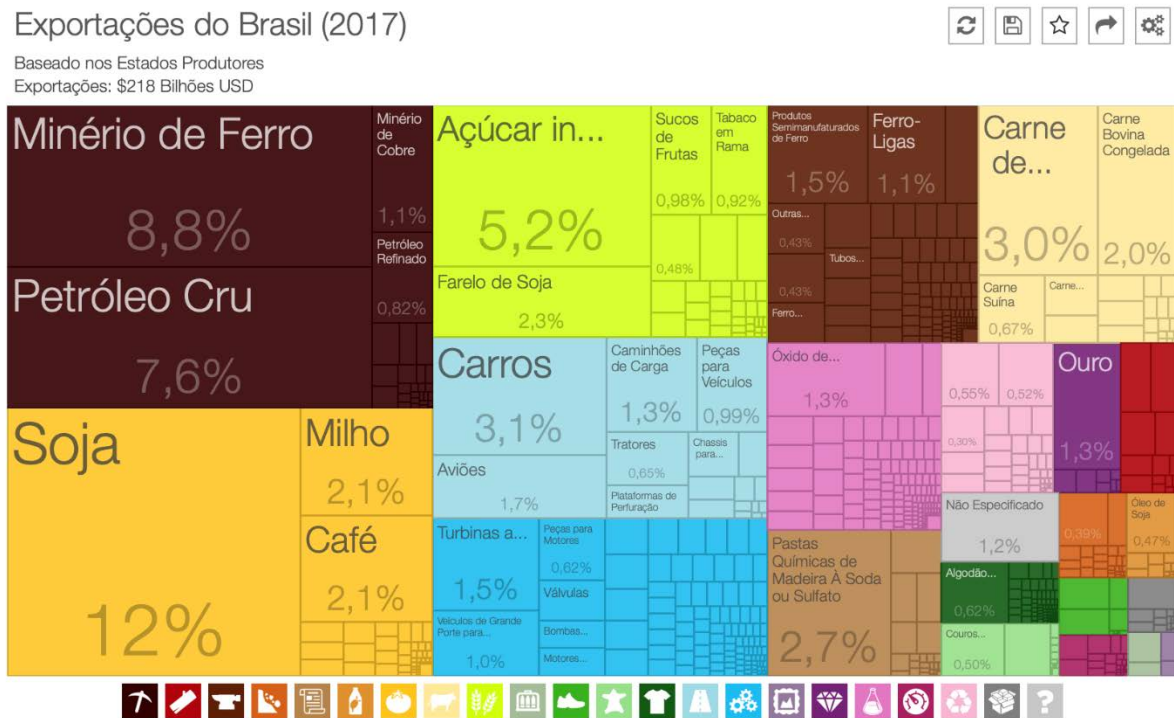


Figura 8 - TreeMap de exportações do Brasil no ano de 2017. As cores indicam os setores produtivos e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: DataViva, 2021).

### 3.3 ESPAÇO-PRODUTO

O espaço-produto é uma representação gráfica da complexidade econômica. Ele consiste em uma rede que sistematiza a complementariedade dos fatores de produção dos produtos comercializados na economia global. Através da análise de dados das pautas exportadoras de diversos países Hidalgo e Hausmann determinaram a probabilidade de diferentes produtos serem exportados por um mesmo local, o que segundo o conceito de complexidade econômica representa uma semelhança entre os requisitos necessários para a fabricação

desses produtos. Sendo assim, produtos que apresentam uma maior probabilidade de serem exportados juntos são representados no espaço-produto mais próximos ou diretamente conectados, a depender do seu grau de complementariedade.

Produtos mais complexos, que apresentam uma grande quantidade de requisitos para serem fabricados, apresentam mais conexões com outros produtos. Segundo o conceito de complexidade isso se deve ao fato de locais que possuem capacidade de fabricar um produto “difícil” tendem a apresentar capacidade de fabricar uma maior diversidade de produtos. Da mesma forma, locais de maior complexidade econômica, que possuem os requisitos para fabricar uma maior variedade de produtos “difíceis”, apresentam mais conexões no seu espaço-produto.

Nesse estudo a análise de complexidade econômica se deu pelo uso de TreeMaps, por conveniência de análise de outros fatores em conjunto. Já a análise da complexidade de produtos se deu pelo uso de espaço-produto adjacente, que é simplesmente a ampliação do espaço-produto para facilitar a análise de conexões de um produto específico. A Figura 9 exemplifica o uso de um espaço-produto.

## Espaço de Produtos para o Brasil (2017)

Baseado nos Estados Produtores  
Exportações: \$218 Bilhões USD

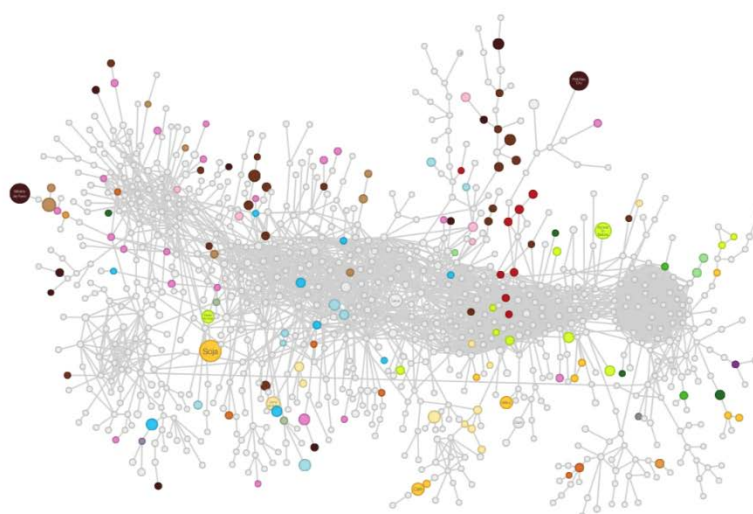


Figura 9 - Espaço-produto do Brasil para o ano de 2017. As cores representam o setor ao qual o produto faz parte e o tamanho dos círculos representa o valor exportado de cada produto (fonte: DataViva, 2021).

## 4 ECONOMIA AMAZÔNICA

### 4.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A muito tempo existe uma discussão sobre quem tem o direito de explorar a Amazônia. Essa discussão é baseada principalmente no conceito de espaço vital, originalmente criado pelo geógrafo alemão Friedrich Ratzel, que defendia que nações que tivessem demonstrado historicamente uma maior eficiência na gestão de seus territórios deveriam ocupar e explorar áreas vazias ou mal aproveitadas por povos indignos da propriedade desses territórios. Até hoje a legitimidade de propriedade sobre determinadas regiões é disputada com base nessa ideia de quem poderia fazer um melhor aproveitamento.

Houveram seguidas tentativas fracassadas de impulsionar o desenvolvimento econômico na região, sempre baseadas em um uso predatório dos recursos e de baixo retorno econômico. O momento em que a Amazônia teve uma maior representatividade econômica foi no ciclo da borracha, mas assim que o monopólio brasileiro sobre esse material foi quebrado a economia

afundou novamente. Os indígenas têm boa adaptabilidade ao ambiente, mas suas demandas materiais são diferentes das outras sociedades que ocuparam a região posteriormente. Houve também um esforço de promover a complexidade econômica com a Zona Franca de Manaus, o que representa uma evolução com relação às outras atividades produtivas que são desenvolvidas na Amazônia, porém também acabou não vingando por não explorar as vantagens comparativas da região.

A trajetória de desenvolvimento da região demonstra uma falta de alinhamento entre objetivos socioambientais e econômicos. Com o crescimento da preocupação ambiental houveram esforços para diminuir impactos como o desmatamento, mineração ilegal e queimadas, porém foi mantido um modelo econômico baseado no uso predatório de recursos, o que tem uma relação muito forte com esses crimes ambientais. Com relação ao desenvolvimento das condições materiais das populações locais, as atividades econômicas mais incentivadas na Amazônia não têm condições de promover o aumento de renda per capita que se deseja.

## **4.2 PROBLEMÁTICA SOCIOAMBIENTAL E ECONÔMICA**

Apesar de a agricultura, em especial a soja, representar uma grande parcela do desmatamento em alguns biomas do país como o Cerrado, na Amazônia a principal atividade responsável pelo desmatamento é a pecuária. O acumulado da série histórica, até 2019, de desmatamento captado pelos satélites LANDSAT indica que a pecuária foi responsável por 88,8% (Figura 10) do total de cobertura florestal perdida, 8,61% foram devido à soja (Figura 11) e 2,58% devido a todas as outras atividades antrópicas como outros tipos de lavoura e área urbana (Figura 12). A pecuária cresceu na Amazônia porque tende a ser mais lucrativa que em outras regiões. Isso é possível devido a maior produtividade das pastagens e aos baixos preços da terra na região, que de acordo com os usos econômicos atuais se valoriza quando desmatada. Além do melhor retorno de investimento a pecuária da Amazônia ainda conta com outras vantagens como o fácil acesso a terras públicas e a baixa aplicação da lei florestal, permitindo o acúmulo de capital por meio da exploração ilegal de madeira que é reinvestido na pecuária. Além disso, os fundos constitucionais destinados à Amazônia Legal que emprestam dinheiro a taxas de juros bem abaixo da praticada no mercado, permitem descontos consideráveis para

produtores adimplentes e possibilitam que associações contratem crédito em nome de pequenos produtores que não possuem título definitivo das terras. Em alguns casos a criação de gado é utilizada apenas para facilitar o processo de grilagem de terras públicas devolutas, o que explica a baixa produtividade da pecuária em alguns locais.

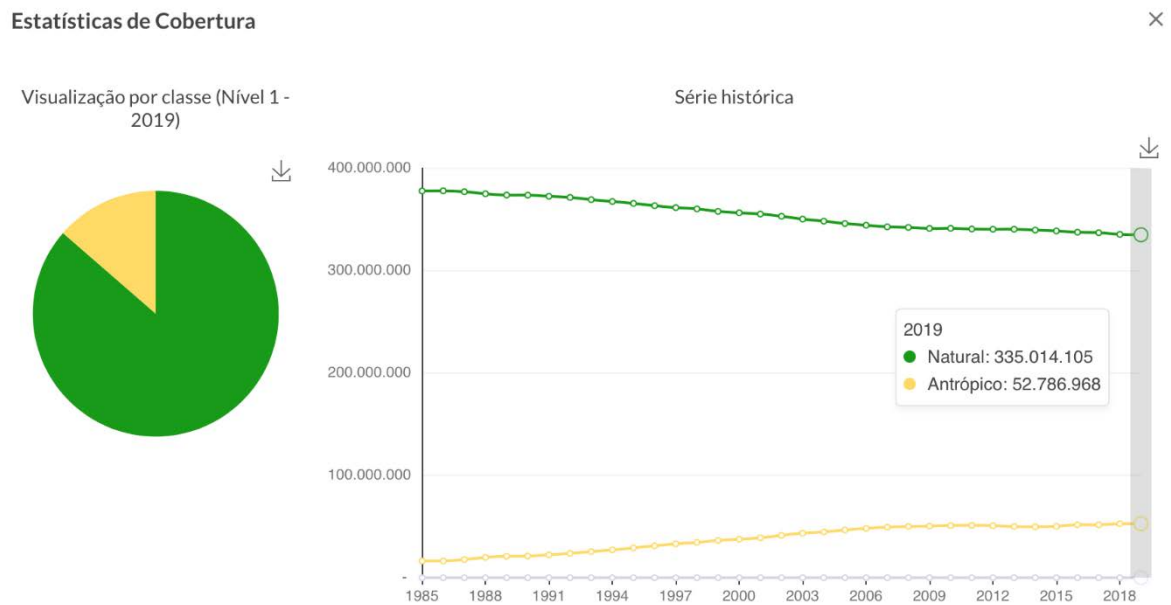


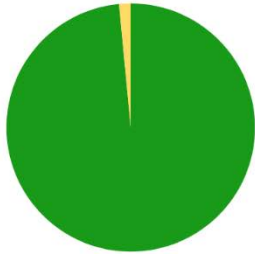
Figura 10 - Área de floresta versus área de pastagem no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021).



### Estatísticas de Cobertura



Visualização por classe (Nível 1 - 2019)



Série histórica

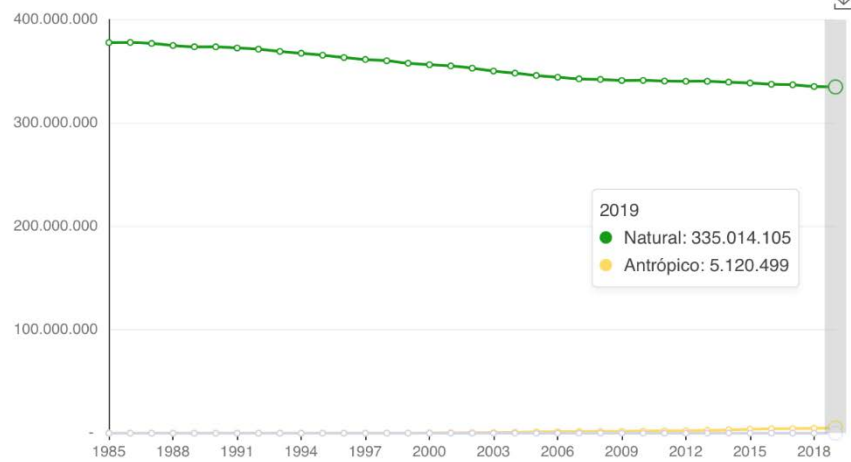
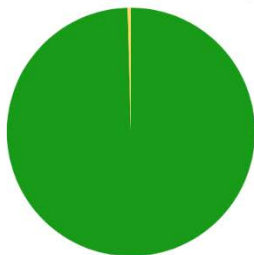


Figura 11 - Área de floresta versus área de cultivo de soja no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021).

### Estatísticas de Cobertura



Visualização por classe (Nível 1 - 2019)



Série histórica

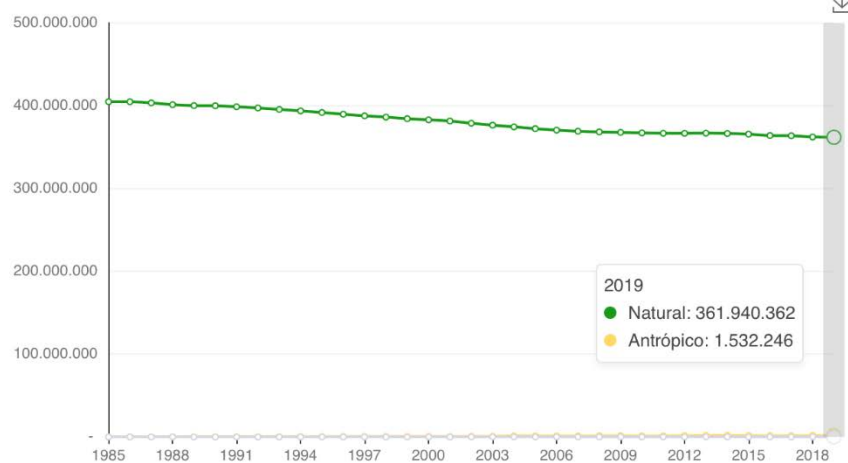


Figura 12 - Área de floresta versus área ocupada por todas as outras atividades antrópicas, incluindo área urbana, no bioma amazônico (fonte: MapBiomias, 2021).

E em contrapartida dos danos ambientais o setor agropecuário não é o que representa retornos socioeconômicos na mesma proporção. Segundo dados do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS) emitido atualmente pelo Ministério da Economia, a agropecuária é responsável por 3,38% dos empregos formais da região Norte, 92,7 mil dos 2,74 milhões, atrás de setores como comércio, construção, atividades administrativas, indústrias de transformação, educação e administração pública, e por 2,03% da renda mensal total, 110 milhões dos 5,4 bilhões, atrás de praticamente os mesmos setores, segundo dados do ano de 2013. A pecuária especificamente, é responsável por 44,5 mil empregos da região Norte, 1,62% do total, e 47,2 milhões da renda mensal, 0,87% do total. Certamente esses números não representam a totalidade de empregos na região devido aos altos índices de informalidade em alguns setores como o agropecuário, o que por um lado aumenta a participação desses setores na geração de empregos, porém também reflete em uma maior precariedade das condições de trabalho e instabilidade financeira desses trabalhadores.

*Commodities*, como as da agropecuária têm uma importância maior na questão cambial, pois o superávit na balança comercial de bens é necessário para compensar a balança comercial de serviços brasileira, que é deficitária devido principalmente ao *leasing* de bens de capital sofisticados e das remessas para o exterior de lucros e dividendos das multinacionais. Porém ao mesmo passo que esse aumento da produção de *commodities* ajuda a equilibrar a balança de conta corrente do país ela também o deixa mais distante do desenvolvimento de capacidades produtivas mais sofisticadas apresentando uma maior necessidade de importação de bens de maior valor agregado. As Figuras 13 e 14 retratam as pautas de exportação e importação de produtos, que constituem a balança comercial de bens, da Região Norte. Nelas é possível verificar que os produtos exportados são no geral menos complexos que os importados, o que implica na necessidade de um volume de exportações, e conseqüentemente de extração de recursos naturais, muito maiores para se gerar superávit na balança comercial de bens. Essa relação tende a se intensificar ao longo do tempo pois o valor agregado das importações aumenta à medida que produtos mais sofisticados são criados e a demanda material da sociedade também evolui. Claro que fatores geopolíticos e de escassez de recursos naturais podem elevar o preço de produtos menos sofisticados como as *commodities*, porém esses fatores são regulados pela busca por novas alternativas como a reciclagem, desenvolvimento de novos materiais e desenvolvimento dessas capacidades produtivas em outros locais. A desproporcionalidade entre o aumento de superávit da balança comercial de

bens e a aumento do volume de bens exportados pode ser observada nas Figuras 15 e 16 (Arima et al, 2005).

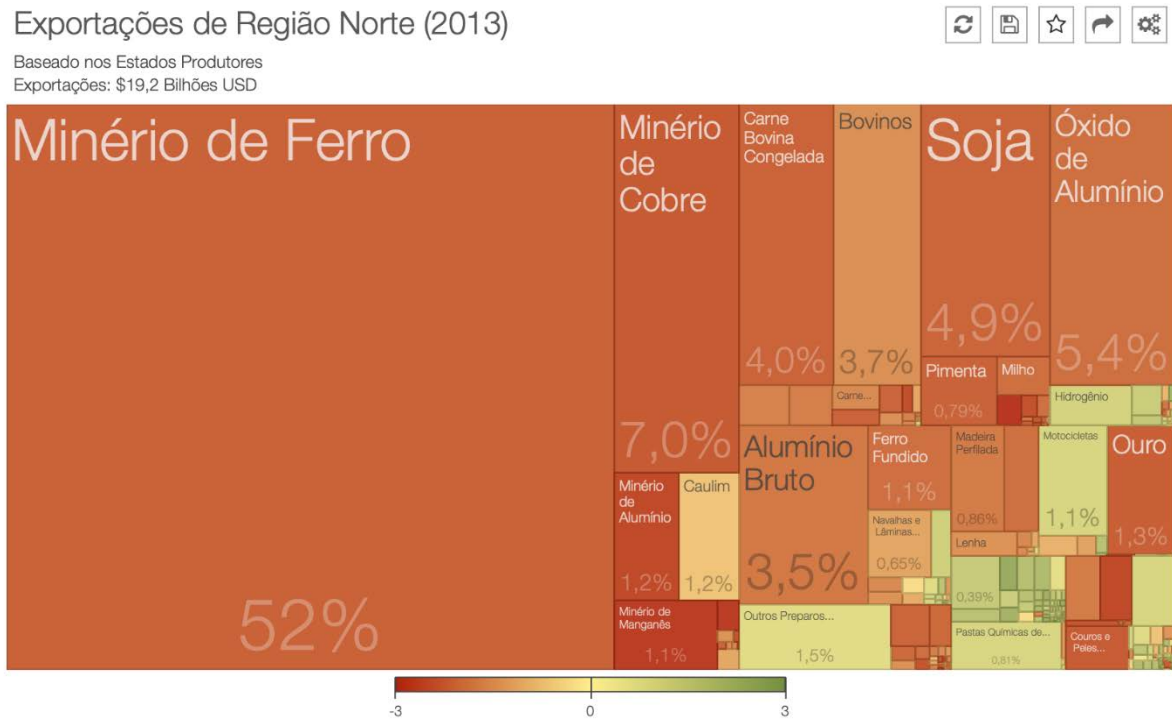


Figura 13 - TreeMap de exportações da Região Norte para o ano de 2013. As cores indicam a complexidade de produto e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: DataViva, 2021).



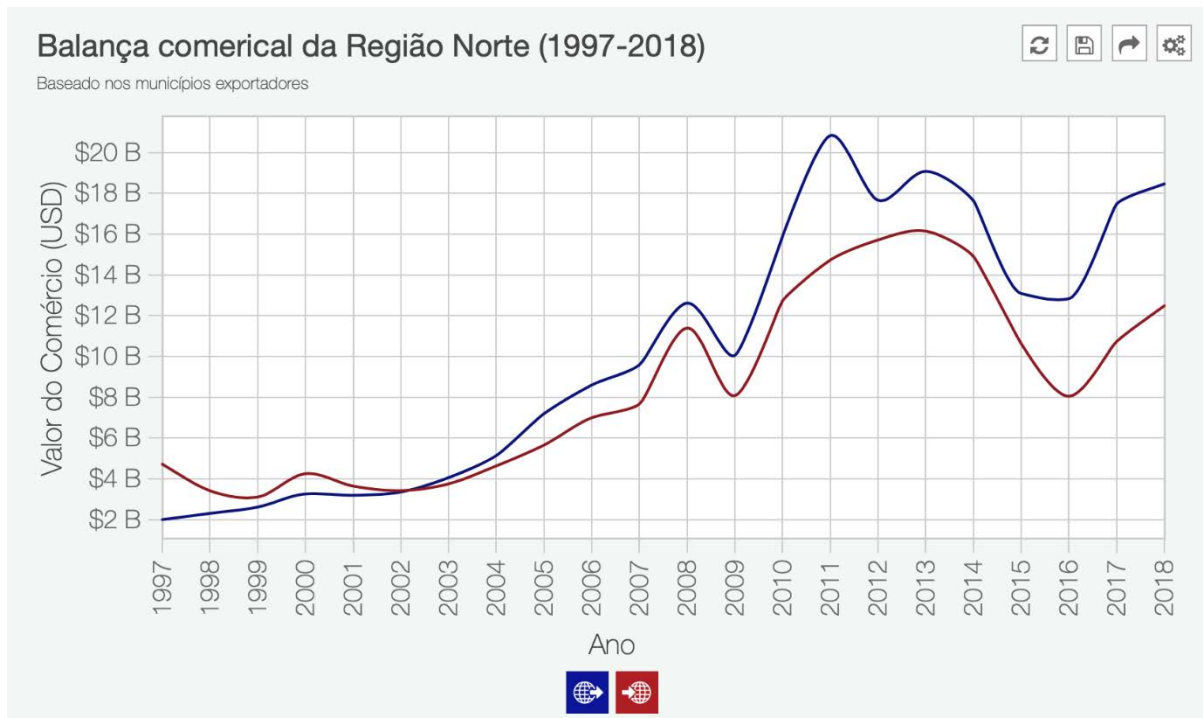


Figura 15 - Gráfico em linha da balança comercial de bens da Região Norte, de valor total comercializado por ano, para a série histórica de 1997 a 2018. A linha azul representa as exportações e a vermelha as importações (fonte: DataViva, 2021).

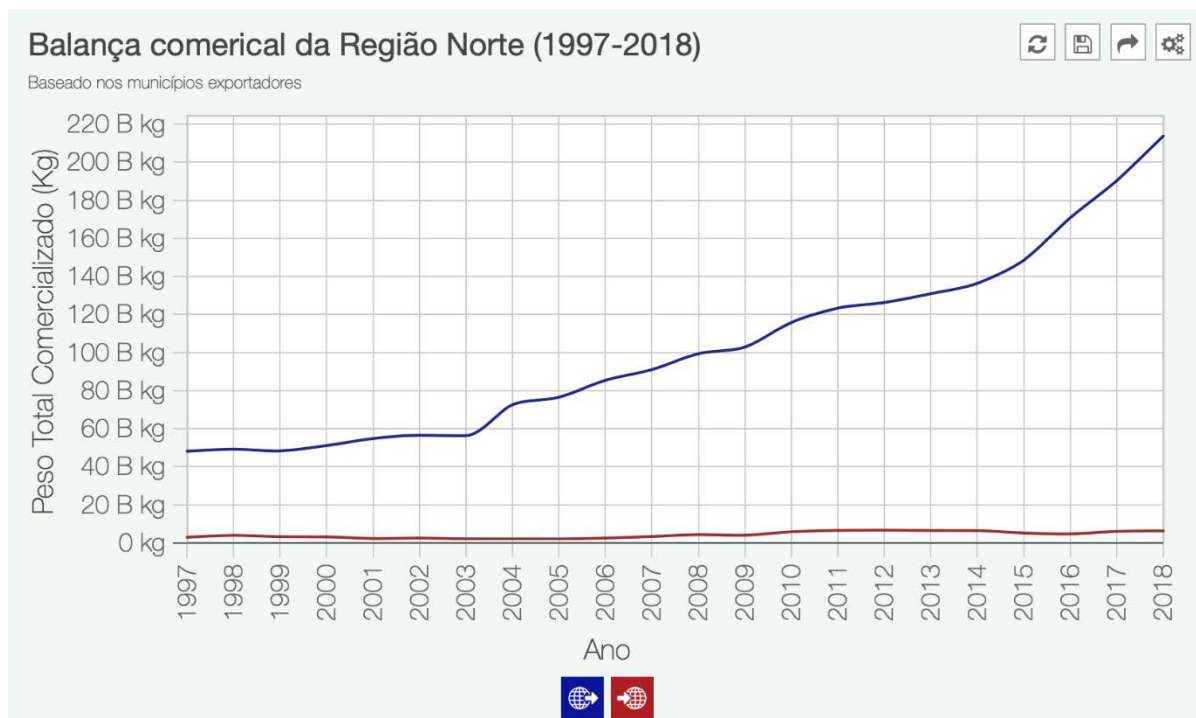


Figura 16 - Gráfico em linha da balança comercial de bens da Região Norte, de peso total comercializado por ano, para a série histórica de 1997 a 2018. A linha azul representa as exportações e a vermelha as importações (fonte: DataViva, 2021).

Uma terceira atividade que causa bastante impacto ambiental na região amazônica é a mineração. Apesar de representar uma pequena parcela do desmatamento a mineração causa danos à qualidade do ar, do solo e da água, além dos impactos sociais e à vida da flora e fauna local. A contaminação atmosférica se dá principalmente pela emissão de partículas e gases poluentes. No solo os impactos ocorrem pela remoção da camada superior mais fértil, contaminação por metais tóxicos e exposição a erosão e lixiviação. Já como relação a água os efeitos da mineração são o assoreamento dos rios, o aumento da turbidez, a contaminação por óleos e metais pesados, e a redução dos níveis de oxigênio dissolvido, pH e penetração de luz solar. Sobre a vida da fauna e flora local, além da remoção de vegetação, os impactos são resultantes principalmente das implicações sonoras e vibracionais da atividade mineradora (Bomfim, 2017).

Diferente do que se pensa à primeira vista, a atividade mineradora não gera efeitos positivos para a sociedade nem nos moldes de Serra Pelada, afinal Curionópolis não é uma referência de desenvolvimento, nem pelo modelo empresarial. Pelo contrário, o que se observa nos

locais onde ocorre exploração mineral é elevação dos índices de criminalidade, transposição involuntária de moradores, danos à saúde da população, aumento da prostituição e tráfico de pessoas. Segundo o geólogo Fred Cruz do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e investigações da Polícia Federal (PF) e Ministério Público Federal (MPF) o garimpo ilegal, que ocorre principalmente em terras indígenas, está frequentemente associado a lavagem de dinheiro proveniente do tráfico de drogas. Mas a atividade mineradora legal também não é benéfica do ponto de vista econômico. Para além dos impactos ambientais e sociais citados, cujo custos em sua maioria não são incluídos no custo de produção do minério, o pagamento de impostos também não apresenta o nível devido.

Muitos desses obstáculos ambientais que a Amazônia enfrenta estão relacionados com a comercialização em mercados internacionais, de demanda muito maior que a capacidade suporte do meio ambiente local. O maior suporte à demanda externa por recursos naturais é um fator que diferencia a trajetória dos países desenvolvidos e dos em desenvolvimento. Países desenvolvidos, que apresentam sofisticação do seu tecido produtivo e controle enorme dos impactos socioambientais em seus territórios, transferem as externalidades negativas para os demais países por meio da "terceirização" de serviços de maior intensidade material e compra direta de recursos naturais. Isso pode explicar por que a extensão de áreas florestais está estável em muitos países desenvolvidos e em alguns casos houve até recuperação dessas áreas (Walker, 1993; De Queiroz, 2009; Dos Santos e De Alencar, 2010).

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS DO PARÁ

Essa análise tem por objetivo caracterizar o panorama atual das capacidades produtivas do Pará e identificar as atividades produtivas já desenvolvidas na região que se possuem um potencial de desenvolvimento bioeconômico. Para isso foram utilizados os registros de valores de exportação do Pará disponíveis no Observatório da Complexidade Econômica (OEC), uma plataforma de visualização e distribuição de dados de código aberto inicialmente desenvolvida pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), que utiliza bases de dados fornecidas pelo Ministério da Economia (ME). Os dados utilizados nessa etapa foram do ano de 2020 e forma de exposição selecionada foi o TreeMap. As cores indicam o setor ao qual o produto pertence como minerais, químicos, de origem vegetal, de origem animal, máquinas, entre outros. O tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total exportado.

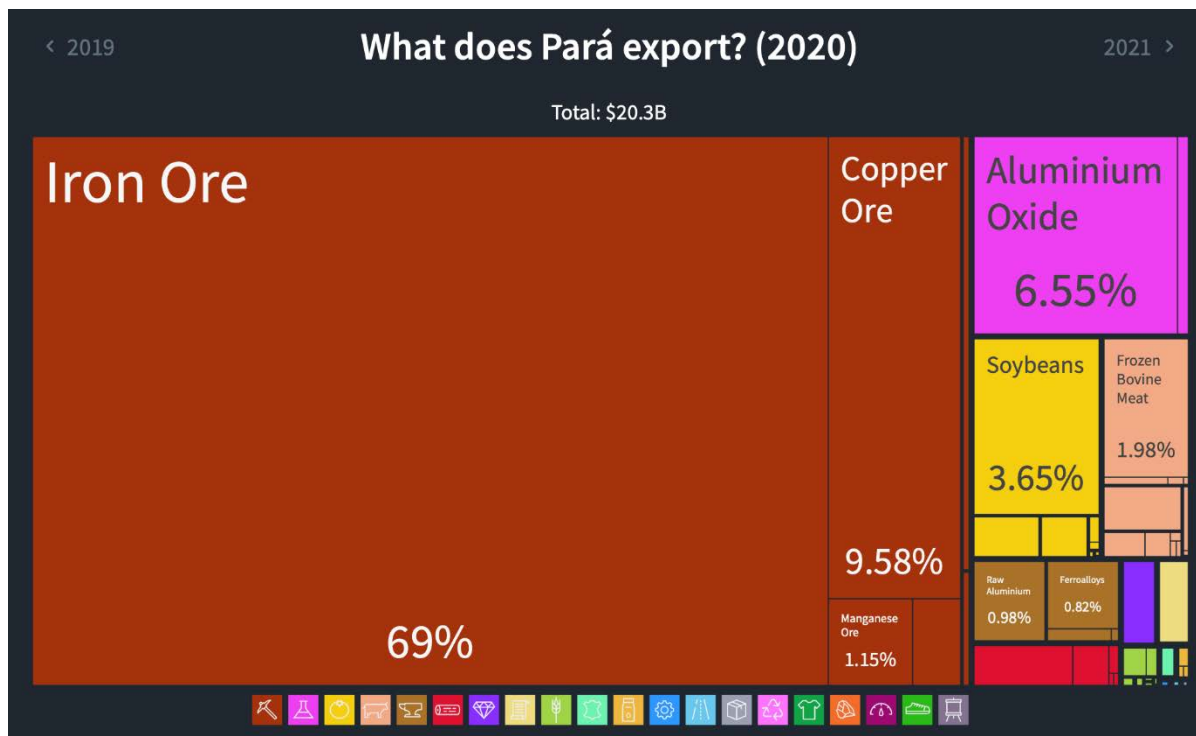


Figura 17 - TreeMap de exportações do Pará no ano de 2020. As cores indicam os setores produtivos e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OCE, 2021).



A Figura 17 mostra que o Pará, seguindo o padrão da região Norte como um todo, possui pouca complexidade econômica por apresentar em sua pauta exportadora pouca diversidade e produtos de baixa complexidade, o que contribui para uma maior dependência da variação de preços dos seus principais produtos exportador, majoritariamente *commodities*. Isso deixa o estado mais exposto à variação de preço desses produtos e restringe as possibilidades viáveis de expansão das capacidades produtivas de bens mais sofisticados uma vez que são necessárias ligações entre as atividades produtivas já existentes e as que se planeja desenvolver. Após uma análise específica de cada setor produtivo foi identificado no ramo alimentício as atividades produtivas, já estabelecidas no estado apesar de minoritárias na pauta de exportação, que apresentam um maior potencial de expansão da bioeconomia de maior complexidade. As principais atividades identificadas foram a produção de suco de outras frutas, outras frutas e nozes processadas, cacau e seus derivados, coco, castanha do Pará e caju. Essas são atividades de médio e baixo nível tecnológico do tipo biotransformação, porém apresentam um potencial de expansão para outras atividades bioeconômicas de maior sofisticação produtiva como as biorrefinarias. A Figura 18 mostra um dos setores produtivos analisados, que apresenta uma participação significativa dos produtos suco de frutas e outras frutas e nozes processadas.

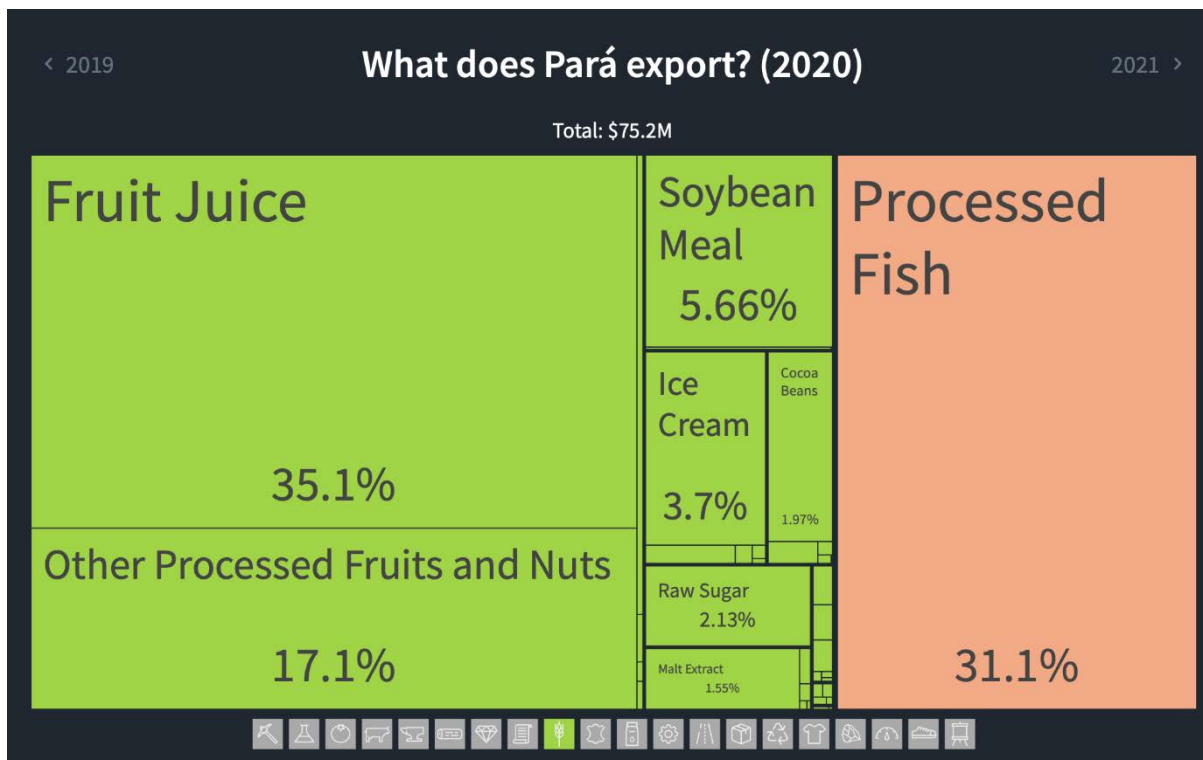


Figura 18 - TreeMap detalhando parte dos setores de exportações do Pará no ano de 2020. As cores indicam o setor produtivo e o tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OEC, 2021).

## 5.2 SELEÇÃO DE MUNICÍPIOS COM MAIOR POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DA BIOECONOMIA

A partir da análise das principais atividades produtivas, já praticadas no Pará, que apresentam um potencial de desenvolvimento da bioeconomia de maior complexidade foi possível identificar os municípios em que essas atividades estão mais presentes. Essa etapa também foi feita por meio de TreeMaps (Figura 19), selecionando a exposição de municípios da Região Norte que exportavam dado produto. A partir da Figura 20, que apresenta os valores de exportação dos municípios paraenses por produto selecionado, foi possível identificar os municípios que apresentam maior representatividade econômica com relação a cada produto e conseqüentemente maior viabilidade para desenvolver bioindústrias que integrem essas cadeias produtivas.

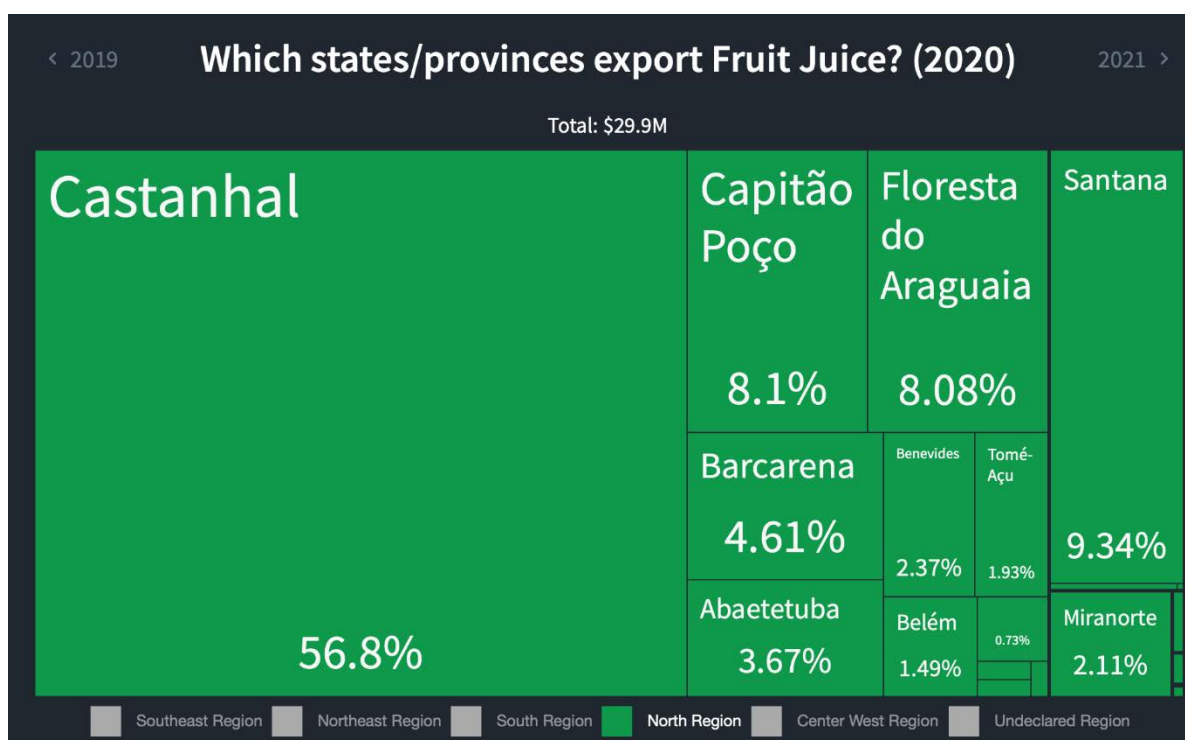


Figura 19 - TreeMap de municípios exportadores de suco de frutas da Região Norte para o ano de 2020. O tamanho dos retângulos representa a participação de cada produto no valor total de exportações (fonte: OEC, 2021).

Produto	Município	Valor em USD exportado em 2020
Suco de frutas	Castanhal	17M
	Capitão Poço	2.42M
	Floresta do Araguaia	2.42M
	Barcarena	1.38M
	Abaetetuba	1.1M
	Benevides	709k
	Tomé-Açu	576k
	Belém	447k
	Ananindeua	217k
	Inhangapi	46.3k
Igarapé-Miri	44.3k	

	Santarém	27.4k
<b>Outras frutas e nozes processadas</b>	Barcarena	5M
	Inhangapi	3.44M
	Abaetetuba	1.52M
	Santa Bárbara do Pará	1.01M
	Tomé-Açu	551k
	Belém	348k
	Castanhal	300k
	Benevides	290k
	Igarapé-Miri	126k
	Óbidos	81.2k
	Marituba	80.4k
	Muaná	43.5k
	Breves	24.4k
	Santa Isabel do Pará	10.5k
	Santarém	5.7k
	<b>Coco, castanha do Pará e caju</b>	Oriximiná
Óbidos		2.86M
Belém		1.92M
<b>Cacau e seus derivados</b>	Tomé-Açu	1.48M
	Altamira	131k
	Belém	32.8k
	Santarém	10.3k

Figura 20 - Valor exportado pelos municípios paraenses com relação aos produtos selecionados. Dados do ano de 2020 fornecidos pela SECEX à OEC (fonte: elaboração própria).

### **5.3 IDENTIFICAÇÃO DE NOVAS ATIVIDADES BIOECONÔMICAS QUE PODEM SER DESENVOLVIDAS NESSES MUNICÍPIOS**

Para a identificação de novas atividades bioeconômicas que podem ser desenvolvidas nesses municípios foi analisado o espaço-produto diretamente relacionado com as atividades produtivas selecionadas. As conexões primárias e secundárias dos produtos em análise indicam os outros produtos que apresentam uma maior probabilidade de serem exportados

juntos pelos locais produtores. Isso significa que existe uma complementariedade no processo de fabricação desses produtos, seja por requisitos tecnológicos ou por necessidade mútua, por exemplo embalagens. Para essa etapa foi utilizada a plataforma aberta de pesquisa DataViva, que utiliza bases de dados disponibilizadas pelo Ministério da Economia (ME). Uma primeira análise apontou que a produção de cacau e seus derivados, e coco, castanha do Pará e caju (Figura 21) não apresentam tantas conexões produtivas quando o suco de frutas e outras frutas e nozes processadas (Figuras 23 e 24). Mesmo assim esses produtos possuem relativamente mais conexões produtivas que os produtos mais exportados dos setores com maior representatividade econômica no Pará, minério de ferro, óxido de alumínio, soja e carne bovina congelada (Figura 22). Outro ponto relevante é que esses produtos demonstraram uma relação valor/massa maior, o que indica uma menor intensidade material com relação aos retornos econômicos. Segundo os dados disponíveis no DataViva relativos a 2014, o ano mais recente disponível no portal, o cacau em grãos rendeu 4 dólares por quilograma exportado do estado do Pará, o coco, castanha e caju renderam 7 usd/kg, o ferro rendeu 3 usd/kg, o óxido de alumínio rendeu 0,657 usd/kg, a carne bovina congelada rendeu 4 usd/kg e a soja rendeu 0,511 usd/kg.

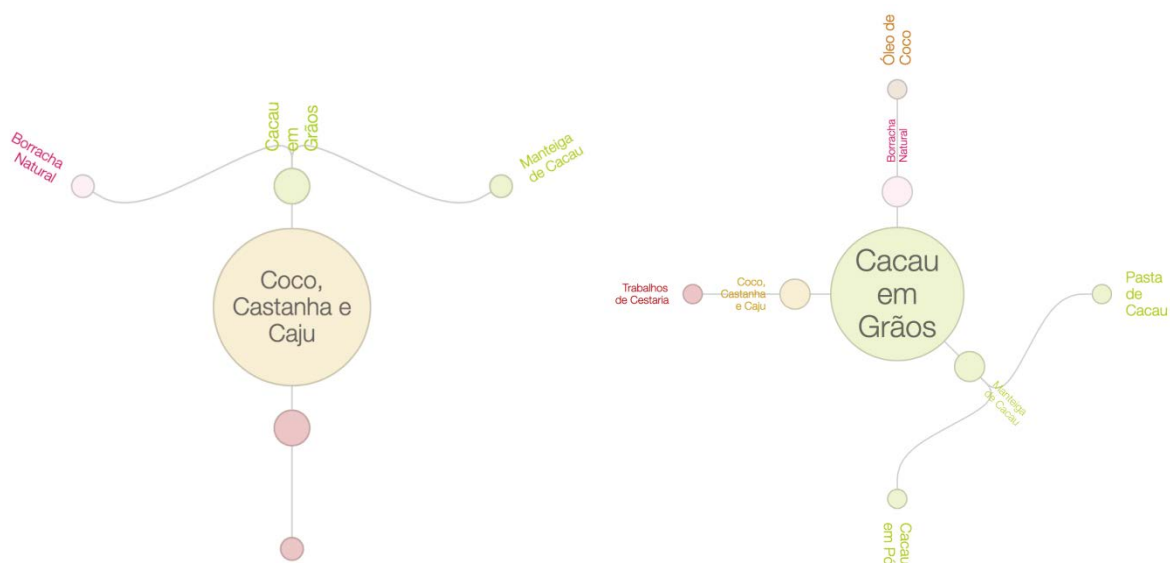


Figura 21 - Espaços-produtos adjacentes ao cacau em grãos, coco, castanha e caju (fonte: DataViva, 2021).

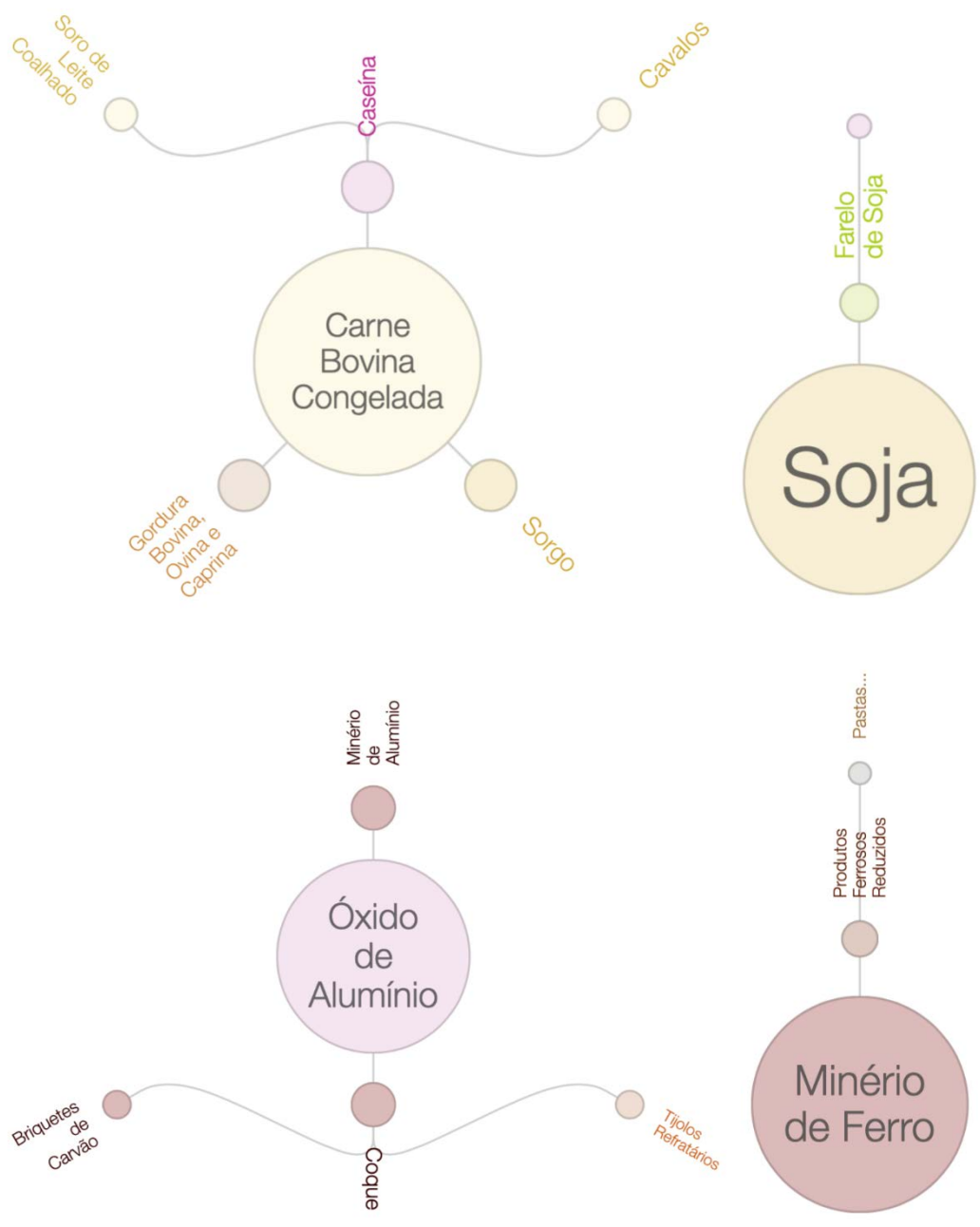


Figura 22 - Espaços-produtos adjacentes ao minério de ferro, óxido de alumínio, carne bovina congelada e soja. (fonte: DataViva, 2021).



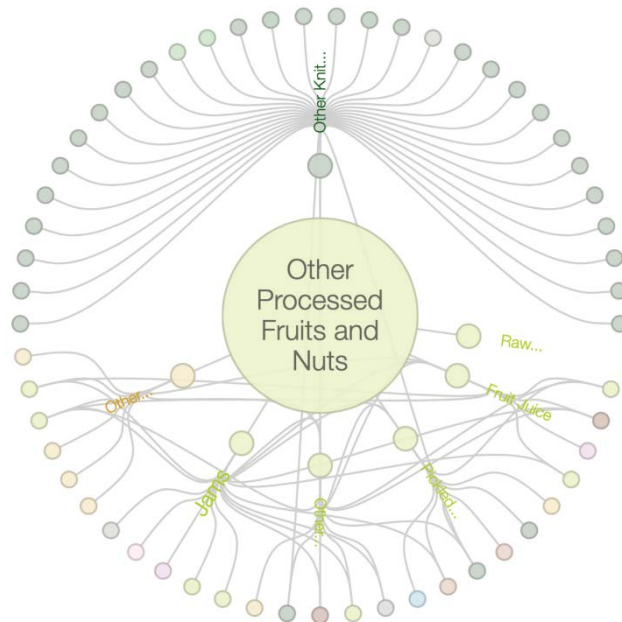


Figura 24 - Espaço-produto adjacente a outras frutas e nozes processadas (fonte: DataViva, 2021).





A próxima etapa foi listar as frutas e nozes produzidas nos municípios com maior representatividade econômica dessas atividades para verificar se os resíduos dessas variedades podem ser aproveitados bioeconomicamente na fabricação dos principais produtos identificados nesses espaços-produtos adjacentes. Com relação às nozes a produção predominante na região é de castanha-do-pará, que se dá majoritariamente de forma extrativista. Para cada tonelada de castanha limpa é gerado 1,4 tonelada de resíduos, composto em sua maior parte pela casca e em menor escala de castanhas descartadas. Pesquisas apontam que essa biomassa pode ser aproveitada na produção de briquetes para abastecimento de fornos em caldeiras (Sena, 2018). Isso diminui a necessidade de uso de lenha, contribuindo para a manutenção da cobertura florestal. Além disso a casta também pode ser utilizada para produção de bioadsorvente de corantes provenientes de efluentes de indústria têxtil (Cechetti, 2011). Outro resíduo que pode ser aproveitado desse processamento é o óleo das castanhas descartadas, que já é bastante utilizado na produção de cosméticos, e sabões biodegradáveis. Quanto maior o grau de refinamento necessário menor o volume gerado, porém o valor agregado do produto também é maior.

Por meio de levantamentos de diferentes estudos sobre produção de frutos no Pará foi identificado que as frutas mais produzidas nos municípios de maior representatividade econômica são açaí, maracujá, laranja, abacaxi, acerola, cupuaçu, mamão, limão e bacuri (Figura 26). Os principais resíduos do processamento de frutas e fabricação de sucos são casca e bagaço, ricas em lignocelulose que é composta por polímeros de celulose, lignina, hemicelulose e pectina. Cada variedade de fruta vai apresentar concentração diferente desses compostos e variação de características gerando diferentes usos. Alguns exemplos de usos possíveis são: produtos de limpeza biodegradáveis como desengordurantes, desinfetantes, desodorizadores e sabão para lavagem de roupas feitos a partir de resíduos fermentados de laranja, limão e mamão; bioadsorvente de metais pesados produzido a partir de semente de acerola; pigmento biodegradável feito de resíduo de açaí processado e casca de maracujá; papel feito da coroa do abacaxi e bioetanol feito de sua casca; tecido semelhante à seda produzido a partir de cascas de laranja; e plásticos e polímeros biodegradáveis produzidos a partir de resíduos de mamão, maracujá, limão e laranja.

<b>Principais frutas produzidas</b>	<b>Valor exportado (USD) de suco de frutas e nozes/outras frutas processadas</b>	<b>Município</b>	<b>Mesorregião</b>
Mamão, maracujá, açaí, limão e cupuaçu	17.3M	Castanhal	Metropolitana de Belém
Açaí e cupuaçu	6.38M	Barcarena	Metropolitana de Belém
Açaí	3.9M	Inhangapi	Metropolitana de Belém
Açaí, maracujá, bacuri e cupuaçu	2.62M	Abaetetuba	Nordeste Paraense
Laranja	2.42M	Capitão Poço	Nordeste Paraense
Abacaxi	2.42M	Floresta do Araguaia	Sudeste Paraense
Açaí, acerola, cupuaçu, bacuri, limão e maracujá	1.12M	Tomé-Açu	Nordeste Paraense
Açaí e cupuaçu	1.01M	Santa Bárbara do Pará	Metropolitana de Belém

Figura 26 - Principais frutas produzidas nos municípios de maior representação econômica quanto aos produtos selecionados (fonte: elaboração própria).

## 6 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontam para uma grande variedade de uso bioeconômico de maior complexidade dos principais resíduos dos municípios de maior participação econômica na exportação dos produtos selecionados. Em especial o município de Castanhal apresenta uma grande participação econômica na cadeia produtiva de suco de frutas e uma variedade de espécies que já apresentam usos bem estabelecidos para fins de biorrefinamento, podendo receber um projeto piloto. Foi observado que, com exceção de Floresta do Araguaia, todos os municípios se localizam próximos de Belém, o que facilita o escoamento da produção. Um biomaterial bastante versátil e que pode gerar melhoras diretas na qualidade ambiental da região é o plástico biodegradável que pode ser produzido a partir de resíduos de mamão, maracujá e laranja. Uma pesquisa recente, Tavares (2020), demonstrou o potencial de aproveitamento das fibras da semente de açaí para fortalecimento mecânico de compósitos plásticos, propiciando o uso desse material para fabricação de produtos que requerem uma resistência maior. A associação de uso de plástico biodegradável com a fibra do açaí é interessante pois além de promover complexidade por meio do cruzamento dessas cadeias produtivas e diversificação de produtos, também atende a um problema ambiental do Pará que é a grande quantidade de resíduos da produção do açaí, uma vez que a semente representa 90% da biomassa do fruto. Variedades nativas como o cupuaçu e o bacuri, por não serem tão difundidas como o açaí, ainda não apresentam uso para biorrefinamento estabelecido, porém podem vir a ser utilizadas também caso essas capacidades produtivas sejam desenvolvidas na região.

A ideia de bioeconomia como um novo nicho de mercado de grande potencial econômico a ser explorado é corroborado por apontamentos como os da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), de que a biotecnologia deve afetar a maioria dos processos produtivos, e da Confederação Nacional das Indústrias (CNI), de que descobertas e inovações no campo da biologia molecular estão abrindo novas possibilidades para a aplicação industrial. A vantagem comparativa da região em relação resto do mundo quanto a quantidade e diversidade de recursos biológico, o valor da marca Amazônia e a valorização da origem via o Documento de Origem Certificada (DOC) coloca o país em uma boa posição competitiva para a disputa de dominância nesse novo nicho de mercado (Willerding et al. apud Dias, Carvalho e Medeiros, 2020).

Para estudos posteriores é sugerido um estudo de viabilidade econômica do estabelecimento de uma biorrefinaria no município de Castanhal voltada para o uso de resíduos de mamão, maracujá, limão e açaí na produção de compósitos fibra/plástico biodegradável. É importante também um mapeamento das possíveis partes interessadas em promover e integrar essa cadeia produtiva, bem como das possíveis origens do fornecimento de mão-de-obra e bens de capital necessários para a produção.

## 7 CONCLUSÃO

Como argumenta Paulo Gala (2017), maior obstáculo para a realização dessa sofisticação produtiva é o mesmo enfrentado por qualquer país da periferia produtiva que busca se desenvolver, que é, criar as condições para os setores produtivos de maior rentabilidade possam se estabelecer e competir com os países do centro produtivo. Os países em desenvolvimento já possuem a vantagem sobre os subdesenvolvidos para promover a substituição de importações por terem um mercado de capitais mais robusto, não necessitando de emitir dívida em moeda estrangeira. Porém necessário uma participação ativa do Estado para articular o Sistema Nacional de Inovação desses países, permitindo que ganhem relevância nos setores de fronteira tecnológica do mercado mundial e escapem da armadilha da renda média.

Os fatores de produção faltantes no Pará são capacitação da mão de obra local e os bens de capital necessários nos processos de biorrefinamento. Quanto a capacitação o Brasil já demonstrou que tem condições de gerar mão-de-obra especializada, inclusive mais do que seu sistema produtivo atual consegue aportar tendo em vista a crescente emigração de profissionais qualificados. Porém seria importante aprimorar a formação técnica para a demanda direta de cada região quanto aos setores que se deseja desenvolver. É importante também, desenvolver as capacidades produtivas nacionais de bens de capitais, para evitar um déficit elevado na balança comercial de serviços pelo *leasing* desses bens e evitar que os países se tornem maquiladores<sup>4</sup>, sem independência produtiva.

Com planejamento e investimento adequados é possível promover a complexificação econômica da região amazônica por meio de atividade bioeconômicas. A Amazônia tem potencial para assumir posições de destaque nas novas tendências econômicas que estão surgindo, tanto por sua grande disponibilidade de recursos quanto por poder de marca e visibilidade mundial. Não faltam interessados em promover um melhor uso da região amazônica. A apropriação do país sobre os potenciais econômicos da Amazônia de forma lógica e eficiente ante a estrutura produtiva atual, que é ambientalmente predatória e socioeconomicamente ineficiente, é importante para preservar o interesse nacional.

---

<sup>4</sup> Países que realizam manufatura parcial, sem domínio completo dos fatores de produção. Assim dependem da transferência por parte da matriz estrangeira de fatores de produção como bens de capital, componentes e conhecimento produtivo. Consequentemente esses países não têm autonomia para desenvolver esse setor e obter maior retorno com o comércio dele.

Ricardo Abramovay (2019) sustenta que é falsa a visão de que o desenvolvimento econômico da Amazônia pressupõe a substituição da cobertura florestal por áreas para exploração de *commodities* de baixo valor agregado. A destruição florestal, além de privar o Brasil e o mundo de serviços ecossistêmicos indispensáveis à própria vida, como a evapotranspiração amazônica que compõe as chuvas de toda a região central da América do Sul, apoia-se em atividades ilegais, desde o desmatamento ilegal para grilagem de terras públicas até a lavagem de dinheiro do tráfico de drogas por meio do garimpo ilegal. Buscar alternativas e econômicas que valorizem a floresta em pé e gerem retornos sociais positivos, como aumento da renda per *capita* e saída da informalidade, são fundamentais para reverter o quadro de destruição da Amazônia.

Essa é também uma ocasião favorável para estabelecer uma estrutura produtiva de menor intensidade material e demanda territorial, preservando os espaços para manutenção do direito dos povos indígenas e não reproduzindo sobre eles o conceito de Espaço Vital. Ao mesmo tempo que fornece aos povos tradicionais alternativas de desenvolvimento econômico facilmente adaptáveis ao seu modo de vida e ambiente. O não desenvolvimento de alternativas produtivas que atraiam a mão-de-obra local, considerando que a região já é populosa e dotada de demandas socioeconômicas fortalece a continuidade da base econômica destrutiva. Os ataques direcionados às populações da região e não ao modelo de desenvolvimento apenas geram antipatia local e barreiras à superação dos obstáculos socioeconômicos e ambientais. O modelo bioeconômico encontra espaço na tradição sociocultural das populações locais e pode ser um bom motor da complexificação econômica da região.

## REFERÊNCIAS

Abramovay R. (2019). "Amazônia: por uma economia do conhecimento da natureza", 1. ed. - São Paulo: Edições Terceira Via, Abong, p. 26-47.

Allegretti M. (2018). "30 anos do Legado de Chico Mendes". UFPR, p. 1-5.

Alves J. E. D. (2015). "População, Espaço e Sustentabilidade - Contribuições para o desenvolvimento do Brasil". IBGE, p. 81-84.

Alves R. N. B. (2001). "Características da Agricultura Indígena e sua Influência na Produção Familiar da Amazônia". IBGE, p. 6-15.

Beluhova-Uzonova R.; Shishkova M.; Ivanova B. (2019). "Concepts and key sectors of the bioeconomy". *Trakia Journal of Sciences*, v. 17 n.1, p. 227-233.

Bomfim M. R. (2017). "Avaliação de impactos ambientais da atividade minerária". UFRB, p. 25-32.

Bresser-Pereira L. C.; Oeiro J. L.; Marconi N. (2016). *Macroeconomia desenvolvimentista: teoria e política econômica do novo desenvolvimentismo*. 1. ed. – Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, p. 5-210.

Brito S. N. S.; Monteiro H. S. A.; Menezes I. S.; Júnior J. P. A.; Bronze A. B. S. (2019). "Resíduos gerados pela agroindústria de polpa de frutas no município de Castanhal - PA". IFPA, p. 8-11.

Canh N. P.; Schinckus C.; Thanh S. D. (2020). "The natural resources rents: Is economic complexity a solution for resource curse?". *Resources Policy*, p. 6-9.

CGEE (2010). "Química verde no Brasil: 2010-2030". - Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, p. 37-42.

Cechetti R.; Papi M. A. P.; Chiavelli L. U.; Martin C. A. (2011). "Caracterização espectroscópica e físico-química da casca da castanha-do-pará". UFTPR, p. 1-2.



Chang H. (2002). Chutando a escada: a estratégia do desenvolvimento em perspectiva histórica; tradução De Araujo L. A. O. 1. ed. – São Paulo: Ed. UNESP, p. 11-229.

Costa A.; De Oliveira A. S.; Garcia R. A. (2011). "Caracterização da dinâmica demográfica da Amazônia e projeção populacional municipal". Cadernos do Leste – Artigos Científicos, Belo Horizonte, v. 11 n. 11, p. 13-17.

De Almeida T. F. (2020). "Quando no Oeste construía-se uma Nação: os Povos Indígenas e a formulação de novos projetos nacionais (1937-1948)". Temporalidades – Rev. de História, p. 454-459.

De Queiroz A. F. (2009). "Meio ambiente e comércio internacional: Relação sustentável ou opostos inconciliáveis? Argumentos ambientalistas e pró-comércio do debate". Rev. Cont. Inter. Rio de Janeiro, v. 31 n. 2, p. 257-277.

Dos Santos A. F.; De Alencar A. F. (2010). "Globalização e sua relação com a apropriação da biodiversidade". R. Fac. Dir. UFG, V.34, n. 02, p. 98-121.

Drummond J. A.; Franco J. L. A.; De Oliveira D. (2010). "Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil". Universidade de Brasília, p. 351-362.

Fearnside P. M. (2005). "Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates and consequences". Conservation Biology, p. 8-10.

Furtado C. (1920). "Formação econômica do Brasil". 32 ed. - São Paulo: Companhia Editora Nacional, p. 130-137.

Garcez L. C.; Arend M.; Giovanini A. (2019). "Complexidade econômica e desequilíbrios regionais em Santa Catarina". Rev. Text. Econ., Florianópolis, v. 22 n. 1, p. 04 – 31.

Gala P. (2017). Complexidade econômica: uma nova perspectiva para entender a antiga questão da riqueza das nações. 1. ed. – Rio de Janeiro: Ed. Contraponto: CICFPD, p. 19-111.

Greenpeace (2017). Madeira manchada de sangue – Violência no campo e roubo de madeira da Amazônia. p. 6-9.

GGDC. (2008). Groningen Growth & Development Centre – Statistics on World Population, GDP and per capita GDP, 1-2008 AD. Disponível em: <<http://www.ggdc.net/maddison/Maddison.htm>>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

Hausmann R.; Hidalgo C. A. (2009). "The building blocks of economic complexity". Harvard, p. 26-27.

Hausmann R.; Hidalgo C. A.; Klinger B.; Barabási A. L. (2007). "The Product Space Conditions the Development of Nations". Harvard, p. 1-9.

Imazon; IPAM; ISA. (2014). "O aumento no Desmatamento na Amazônia em 2013: um ponto fora da curva ou fora de controle?", p. 1-2.

IPAM. (2006). "A grilagem de terras públicas na Amazônia brasileira". Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, p. 11-17.

Lobens L. C. (2019). "A mineração que empobrece o Brasil". Instituto de Justiça Fiscal, p. 1-5.

Maciejczak M. (2017). "Bioeconomy as a Complex Adaptive System of Sustainable Development". SGGW, p. 1-3.

Martínez J. (2020). "Biorrefinaria para recuperação de subprodutos do processamento de maracujá por meio de tecnologias de alta pressão". FAPESP, p. 1-2.

Moreira L. F.; (2019). "Do campo para a indústria química: Oportunidades para o Brasil na bioeconomia mundial". FGV, p. 15-98.

Pabis T. C. (2016). "Sistema Nacional de Inovação: As políticas tecnológicas e de inovação da Coreia do Sul". Blucher, p. 1331-1351.

Santana A. C. (2010). " Organização e competitividade das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará: 1995 a 2004". Unama, p. 105-135.

Santos C. C. S.; Sena C. C.; Santos G. S.; Pastana D. M.; Ferreira A. O. (2018). "Descarte e reaproveitamento de resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia Excelsa*) em uma cooperativa extrativista no município de Laranjal do Jari". IFAP, p. 1-4.

Sandroni P. (2005). Dicionário de economia do século XXI. 8. ed – São Paulo: Ed. Best Seller, p. 120-312.

Tavares F. F. C.; Almeida M. D. C.; Silva J. A. P.; Araújo L. L.; Cardozo N. S. M.; Santana R. M. C. (2020). "Tratamento térmico da fibra de açai (*Euterpe oleracea*) para reforço de resina composta". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, p. 1-3.

UNCTAD. (2015). "Operationalizing the product space: A road map to export diversification". United Nations Conference on Trade and Development, p. 3-5.

Villacís-Chiriboga J.; Elst K.; Vera E.; Ruales J. (2020). " Valorization of byproducts from tropical fruits: Extraction methodologies, applications, environmental, and economic assessment: A review (Part 1: General overview of the byproducts, traditional biorefinery practices, and possible applications) ". Instituto Flamengo de Pesquisa Tecnológica, p. 2-17.

Villela R.; Bueno R. (2015). "A expansão do desmatamento no estado do Pará: População, dinâmicas territoriais e escalas de análise". *ENCE*, p. 1-4.

Walker R. (1993). "Deforestation and Economic Development". *Canadian Journal of Regional Science*, XVI:3, p. 481-497.

Wiedemann T.; Schandl H.; Lenzen M.; Moran D.; Suh S.; West J.; Kanemoto K. (2015). "The material footprint of nations". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, p. 3-4.

Willerding A. L.; Da Silva L. R.; Da Silva R. P.; De Assis G. M. O.; De Paula E. V. C. M. (2020). "Estratégias para o desenvolvimento da bioeconomia no estado do Amazonas". *Sedecti*, p. 149-161.

WWF (2020). *Índice Planeta Vivo 2020 – Reversão da curva de perda de biodiversidade*. World Wildlife Fund, p. 19-20.

**APÊNDICE A - TABELA DE CARACTERÍSTICAS DE PARTE DOS  
PRODUTOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO**

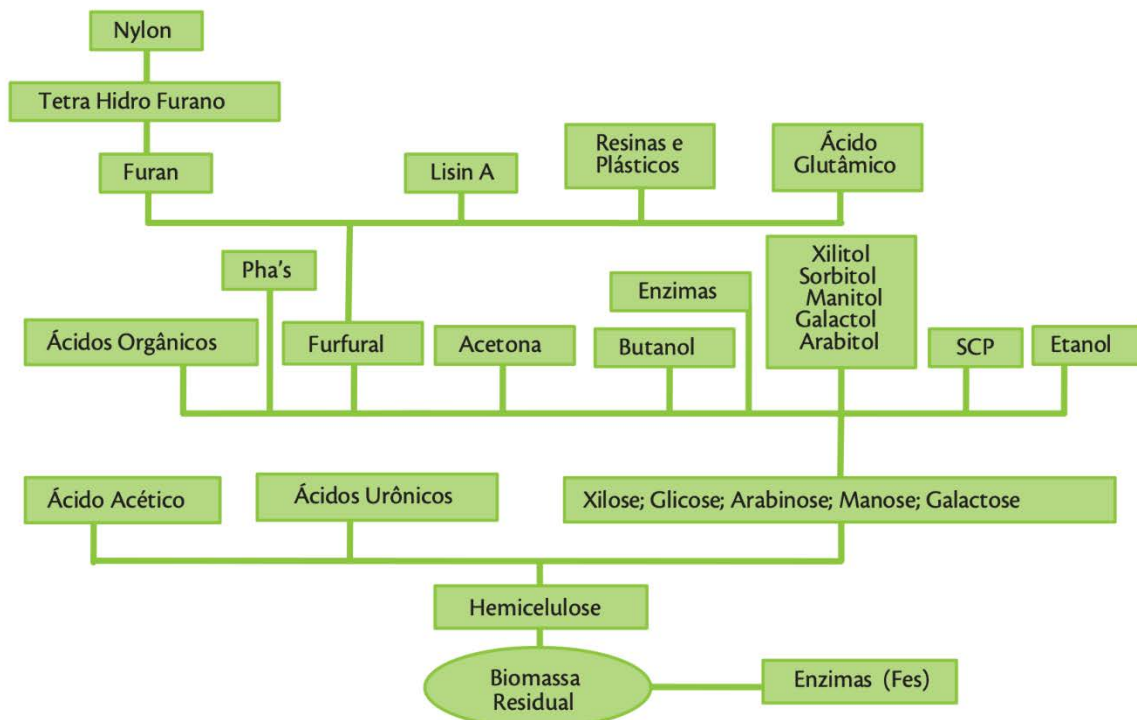
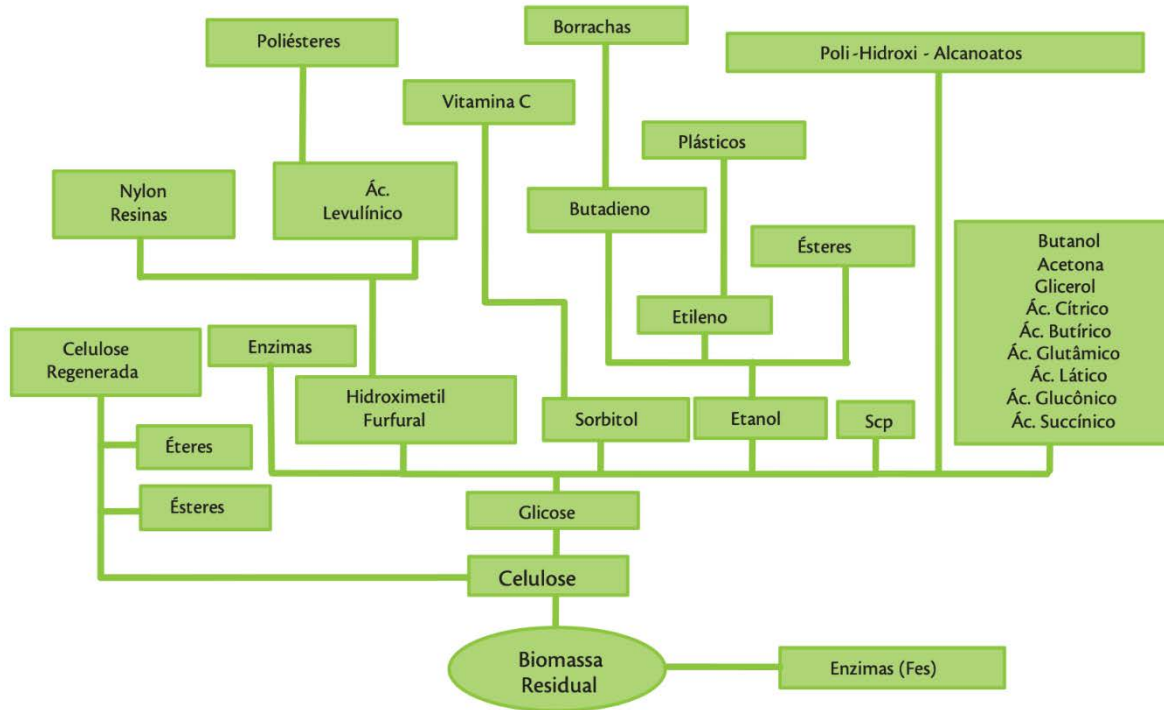
Fruta	Fração	Principais compostos	Método de extração	Bioatividade	Referência
<b>Açaí</b> ( <i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	Sementes	Fenólicos (mg/g DW): 490,91 a 491,07, principalmente antocianinas e flavonoides	Extração e purificação de solvente orgânico com técnicas cromatográficas ou resinas.	Antioxidante	(Melo et al., 2016)
<b>Acerola</b> ( <i>Malpighia emarginata</i> )	Semente e casca	Antocianinas totais (µg/g): 0,14 a 2,3 Carotenóides (µg β-CE/g): 0,86 a 18,27 Ácido ascórbico (mg/g): 1,04 a 8,09 Fenólicos (mg GAE/g): 0,047 a 0,128 Flavonoides totais (mg QE/g): 1,61 a 5,83	Extração assistida por ultrassom com etanol como solvente	Atividade antioxidante	(Rezende et al., 2017)
<b>Frutos cítricos</b> ( <i>Citrus spp.</i> )	Cascas	Fenólicos (µg/g FW): 282 a 6923 β-caroteno (µg/g DW):	Extração hidroalcoólica a Extração de fluido	Antioxidante	(Rafiq et al., 2018; Shofinita, Feng, & Langrish,

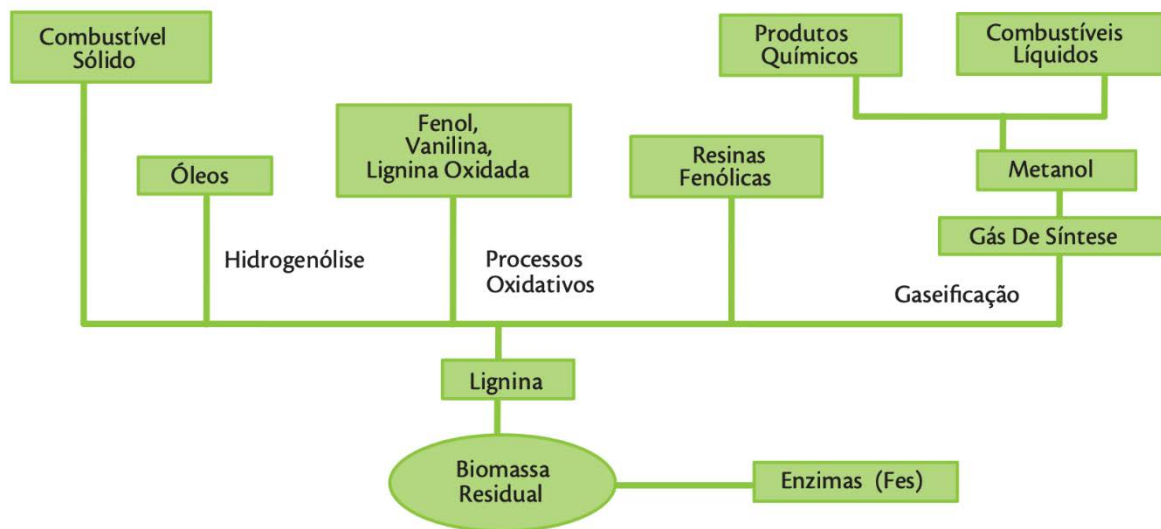
		0,445 a 3,972 Ácido cítrico (meq/g DW): 0,01 a 0,04	supercrítico Soxhlet com água deionizada		2015; Tsitsagi, Ebralidze, Chkhaidze, Rubashvili, & Tsitsishvili, 2018)
	Sementes	Fenólicos (mg GAE/g DW): 0,68 a 2,11 Flavonoides (mg EC/g DW): 1,31 a 2,52 Taninos (mg EC/g DW) 0,12 a 0,37	Extração de fluido supercrítico Extração com solvente orgânico	Atividade citotóxica Atividade antioxidante	(Castillo-Herrera et al., 2015; Moulehi, Bourgou, Ourghemmi, & Tounsi, 2012)
<b>Mamão</b> ( <i>Carica papaya</i> )	Descasque	Fenólicos (mg GAE/g DW): 7,32 a 43,79 $\beta$ -Caroteno ( $\mu$ g/g DW): 0,15 Ácido ascórbico (mg AAEEa/g DW): 1,87 a 3,01	Diferentes solventes testados para avaliar o melhor	Atividade de limpeza	(Asghar et al., 2016; Ovando-Martínez et al., 2018; Pavithra, Suchiritha Devi, Suneetha W, & Durga Rani, 2017)
	Sementes	Fenólicos (mg GAE/g DW): 0,31 a 43,42 Ácido ascórbico (mg AAEE/g	Diferentes solventes testados para avaliar o melhor	Atividade de limpeza, quimioprevenção contra o câncer	(Asghar et al., 2016; Ovando-Martínez et al., 2018; N. Pathak et al., 2014; Sofi et

		DW): 0,20			al., 2016)
<b>Maracujá</b> ( <i>Passiflora edulis sp.</i> )	Cascas	Fenólicos (mg/g DW): 5,40 a 5,91 Total de carotenóides (µg/g DW): 9,18 a 255,16	Extração hidroalcoólica, saponificação com KOH para análise de carotenóides	Atividade antioxidante	(Dos Reis, Facco, Salvador, Flôres, & de Oliveira Rios, 2018; Medina et al., 2017)
	Sementes	Fenólicos (mg GAE/g DW): 0,31 a 0,35	Extração com solvente orgânico	Atividade antioxidante	(Morais et al., 2015)
<b>Abacaxi</b> ( <i>Ananas comosus</i> )	Cascas	Fenólicos (mg de suco GAE/mL): 0,38 a 0,39 Vitamina C (mg/mL de suco): 0,395 a 0,615	Pressionando Extração com solvente orgânico	Atividade antioxidante Atividade antimicrobiana	(S. Banerjee, Ranganathan, Patti, & Arora, 2018; Difonzo et al., 2019; Punbusayakul, Samart, & Sudmee, 2018)

(fonte: Villacís-Chiriboga *et al*, 2020).

## APÊNDICE B – ESTRUTURAS ANALÍTICAS DE BIORREFINAMENTO LIGNOCELULÓSICO





(fonte: CGEE apud Pereira Jr., 2010).