

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE SOBRE O PAPEL DA BIOMASSA NA
ECONOMIA CIRCULAR DO BRASIL**

Mateus Anselmo Farias Pereira

São Carlos - SP

2024

Mateus Anselmo Farias Pereira

ANÁLISE SOBRE O PAPEL DA BIOMASSA NA ECONOMIA CIRCULAR DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de graduação em Engenharia Química
pela Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: Fábio Bente Freire.

São Carlos

2024

ANÁLISE SOBRE O PAPEL DA BIOMASSA NA ECONOMIA CIRCULAR DO BRASIL

Mateus Anselmo Farias Pereira

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de graduação em Engenharia Química
pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador

Fábio Bente Freire

DEQ UFSCar

Membro da banca (1)

José Maria Corrêa Bueno

DEQ UFSCar

Membro da banca (2)

Guilherme Henrique Alves Pinto

DEQ UFSCar

Agradecimentos

À minha mãe Maria José, que sempre fez de tudo para que eu pudesse correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus irmãos André, Marcos e Adriano, que sempre me deram conselhos, amor e referência.

Aos meus amigos que fiz ao longo desses anos, ressaltando a República Canarinho e a República Arapuca por onde passei, amadureci e pude chamar de lar.

Ao professor Fábio Bentes Freire, por me orientar nesta etapa final da graduação.

Resumo

Este trabalho investiga a importância da biomassa na economia circular do Brasil, abordando o contexto da economia circular em algumas regiões do mundo e a relação com a biomassa. O estudo também analisa políticas públicas relacionadas à biomassa, incluindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, destacando como estas políticas promovem práticas sustentáveis e a transição para uma economia circular mais eficiente. A discussão gira em torno do cenário brasileiro, analisando suas características.

Palavras-chave: Economia circular, Biomassa, PNRS, Políticas públicas.

Abstract

This paper investigates the importance of biomass in the circular economy of Brazil, addressing the context of the circular economy in some regions of the world and its relation to biomass in Brazil. The study also analyzes public policies related to biomass, including the National Solid Waste Policy from Brazil, highlighting how these policies promote sustainable practices and the transition to a more efficient circular economy. The discussion revolves around the Brazilian scenario, analyzing its characteristics.

Keywords: Circular economy, Biomass, PNRS, Public policies.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Diagrama da economia circular.....	12
Figura 2 - Pesquisa do CNI “Economia circular e a indústria”	23
Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira 2022.....	26

Lista de Siglas

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

CNI - Confederação Nacional da Indústria

ONU - Organização das Nações Unidas

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

UE - União Europeia

EUA - Estados Unidos da América

MDF - Fibras de Média Densidade (Medium Density Fiberboard)

Sumário

1. Introdução.....	11
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1. Economia Circular.....	16
2.1.1. Economia Circular no Mundo.....	16
2.1.2. Economia Circular no Brasil.....	21
2.2. Biomassa.....	24
2.3. Políticas Nacionais.....	27
3. Metodologia.....	28
4. Discussões.....	29
5. Conclusão.....	32
6. Referências.....	33

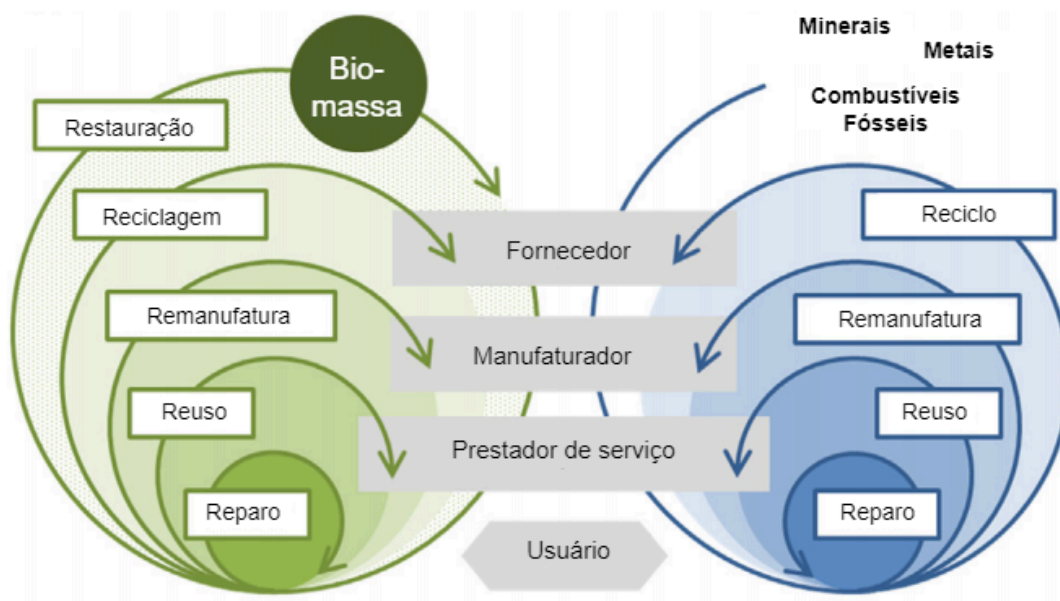
1. Introdução

A economia circular é um conceito de produção em que os materiais nunca se transformam em resíduos e a natureza é, assim, regenerada. Numa economia circular, os produtos e matérias primas são mantidos em circulação através de processos como, por exemplo, a manutenção, a reutilização, a renovação, a refabricação, a reciclagem e a compostagem. Na prática, a mudança para uma economia circular significa utilizar menos matéria prima e mais produtos reciclados, beneficiando as empresas, a sociedade e o meio ambiente. Dessa forma, torna-se possível dissociar o crescimento do consumo de recursos finitos. Como a economia circular difere do modelo de livre concorrência da economia linear, surgem questões sobre quais seriam os obstáculos para a implantação desse novo conceito de produção e o que poderia ser feito pelas autoridades governamentais para apoiar proativamente a transição entre uma e outra.

Um dos conceitos da economia circular é o Diagrama Borboleta, que ilustra dois ciclos distintos: o ciclo biológico e o ciclo técnico.

- Ciclo biológico: Este ciclo lida com materiais que são biodegradáveis. Neste ciclo, os resíduos orgânicos, como alimentos e materiais biológicos, são reintegrados na natureza através de processos como a compostagem. Esses materiais se degradam e retornam ao ambiente natural, podendo ser utilizados como nutrientes. (ciclo verde na figura abaixo).
- Ciclo técnico: Este ciclo envolve produtos não biodegradáveis e de matéria-prima finita. O foco aqui é a utilização máxima dos recursos, contemplando o ciclo em azul na figura abaixo. Isso inclui tudo, desde eletrônicos até edifícios e sistemas de transporte. Em vez de descartar esses produtos após o uso, eles são desmontados e os materiais são recuperados para criar novos produtos, maximizando a sua utilidade e minimizando o desperdício.

Figura 1: Diagrama da economia circular



Fonte: The significance of biomass in a circular economy, 2020

A economia circular está focada em sanar o problema da poluição, e ainda desempenhar um papel fundamental na resolução de outros desafios mais complexos, como as alterações climáticas e a perda de biodiversidade. Em termos de conhecimento, a economia circular e a sustentabilidade são interligadas por diferentes áreas da economia, da gestão, da engenharia, da tecnologia, do meio ambiente e da sociedade. Abordagens interdisciplinares entre as diferentes áreas científicas são necessárias não só para atingir os objetivos de sustentabilidade, mas também para resolver os diversos problemas ambientais, além de expandir os limites tecnológicos e superar potenciais perturbações nos sistemas econômicos. Os temas dentro da área de conhecimento que engloba a economia circular poderiam ser classificados em três níveis:

- Nível micro:
 - O foco está na engenharia e gestão dentro das empresas. Este nível trata de como as empresas podem reformular suas práticas de produção e gestão para adotar princípios de economia circular. Isso inclui a implementação de processos que maximizem a reutilização e reciclagem de materiais, minimizem o desperdício e otimizem o uso de

recursos. As empresas buscam estratégias para tornar seus processos mais sustentáveis e econômicos, reavaliando métodos tradicionais de produção linear que dependem de extração, transformação e descarte. A adaptação a um modelo de economia circular no nível micro também envolve inovação, desenvolvimento de novos produtos e aprimoramento de processos para criar um ciclo fechado de materiais e energia.

- Nível meso:
 - O enfoque está na ecologia industrial, simbiose industrial, eco-clusters e parques eco-industriais. Neste nível, a atenção é direcionada para a colaboração entre diferentes empresas e organizações. A ecologia industrial, por exemplo, estuda como as indústrias podem simular ecossistemas naturais em suas operações, onde os resíduos de uma empresa servem como insumos para outra. A simbiose industrial envolve a colaboração entre diferentes indústrias para otimizar o uso de recursos e minimizar o desperdício. Os eco-clusters e parques eco-industriais são agrupamentos de empresas que compartilham recursos, infraestrutura e práticas de gestão para melhorar a sustentabilidade e a eficiência. Estes conceitos incentivam a criação de redes de negócios que se apoiam mutuamente em direção à sustentabilidade e eficiência de recursos.
- Nível macro:
 - Nível focado nas ações que envolvem políticas gerais, planos e empreendedorismo verde e sustentável. Abrange iniciativas governamentais e políticas públicas que incentivam práticas de economia circular, como regulamentações, incentivos fiscais e subsídios. Os planos podem incluir estratégias nacionais ou regionais para promover a economia circular. O empreendedorismo verde se refere à criação de novos negócios focados em soluções sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento econômico sustentável. Este nível é crucial para estabelecer o ambiente e a estrutura que permitem a adoção de práticas de economia circular em níveis micro e meso.

Em cada um desses níveis há contexto para desenvolvimentos dentro da engenharia química, seja inovando e otimizando processos ou analisando de forma integrada a atividade econômica e o meio ambiente através do intercâmbio de resíduos, matéria-prima, energia e água, de forma a reduzir os impactos e seus custos operacionais.

A biomassa tem um papel muito importante dentro da economia circular, tanto como fonte de matéria prima quanto de energia. Quando se trata de energia, biomassa é qualquer matéria orgânica que pode ser utilizada para gerar energia, como, por exemplo, madeira, resíduos florestais ou materiais vegetais. Ela pode ser gerada a partir de diferentes fontes, incluindo resíduos agrícolas ou florestais, poda urbana e até alimentos não consumidos. Para que a biomassa estabeleça uma economia circular, desdobramentos práticos precisam ser avaliados pelas partes interessadas ao longo de toda a cadeia de valorização, desde a concepção do produto até à gestão de resíduos. Dentro da produção sustentável, a biomassa é gerada ao mesmo tempo em que se torna matéria-prima convertida em algo com valor comercial.

Todos os fluxos de materiais dentro de uma cadeia de valorização precisam ser levados em conta para implementar com sucesso uma economia circular. Um princípio fundamental é que os materiais que geram um produto definem em grande parte as opções adequadas para a gestão de final de vida dos resíduos, como na escolha da carcaça, por exemplo, optar por uma opção reciclável. Embora algumas práticas cotidianas de fim de vida da biomassa sejam bastante conhecidas, vale ressaltar que algumas, como a digestão anaeróbica, por exemplo, contribuem para a formação de nova biomassa. Em termos de balanço de massa, entende-se que quando o dióxido de carbono está no início e também no fim do ciclo de vida da biomassa, como ocorre na digestão anaeróbia, o composto e o digerido podem ser utilizados como fertilizante em cultivos para melhorar a produção de biomassa. Esse é um exemplo de fluxo de materiais restauradores que devolvem um recurso à natureza.

O cenário brasileiro da economia circular tem evoluído significativamente ao longo dos anos, refletindo tanto a necessidade de práticas sustentáveis quanto as demandas econômicas e ambientais. Historicamente, o Brasil tem se destacado no

uso de biomassa para a produção de energia, principalmente devido ao seu potencial agrícola. A cana-de-açúcar, por exemplo, tem sido uma fonte chave para a produção de etanol, um biocombustível que representa uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. O etanol de cana-de-açúcar no Brasil abastece aproximadamente 40% do combustível para veículos de passageiros, evidenciando o sucesso do país na incorporação de fontes de energia renováveis em sua matriz energética ("Biomassa e energia", SciELO Brasil).

Além disso, a economia circular no Brasil é influenciada por políticas governamentais e iniciativas do setor privado, voltadas para a sustentabilidade e inovação. O país tem buscado maneiras de otimizar o uso de recursos naturais e reduzir a geração de resíduos, alinhando-se com os princípios globais de economia circular. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010), por exemplo, é um marco regulatório importante que estabelece diretrizes para a gestão integrada e o tratamento adequado dos resíduos sólidos, incentivando práticas como reciclagem e reutilização. Essas políticas e práticas não apenas contribuem para a proteção ambiental, mas também oferecem oportunidades econômicas, promovendo a criação de empregos e inovação tecnológica no setor de energia renovável e gestão de resíduos.

Por fim, há uma cooperação internacional de várias partes empenhadas em eliminar resíduos sem valor algum das atividades produtivas e o Brasil tem muito espaço para melhorias dentro desse cenário. O objetivo desse Trabalho de Graduação é mostrar um panorama dos avanços e das tendências sobre como a biomassa ajuda a movimentar a ainda incipiente economia circular no país. O Brasil é reconhecido por utilizar biomassa para gerar energia e também por ser um dos maiores produtores mundiais de biocombustíveis, sendo que as principais fontes são a cana-de-açúcar e a madeira. A tendência atual é de evolução das políticas públicas e de aumento das iniciativas para adoção dos elementos da circularidade nos setores produtivos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Economia Circular

Já introduzida a economia circular, vale destacar que os indicadores de uma economia circular saudável fornecem uma visão abrangente sobre a eficácia e sustentabilidade das práticas circulares em um país ou região. Inicialmente, a taxa de reciclagem e reutilização é crucial, pois mostra a porcentagem de resíduos que são efetivamente reaproveitados, reduzindo a dependência de recursos naturais virgens. O uso eficiente de recursos é outro indicador chave, destacando a relação entre o consumo de recursos e a produção econômica. A redução de resíduos é igualmente importante, pois indica o sucesso em minimizar resíduos destinados a aterros, refletindo práticas de consumo e produção mais sustentáveis.

Além disso, a eco-inovação desempenha um papel vital, pois reflete o desenvolvimento e a adoção de tecnologias e práticas empresariais que apoiam a economia circular. A integração de práticas circulares em diferentes setores da economia é um indicador de quão profundamente os princípios circulares estão enraizados na atividade econômica. Por fim, a geração de valor econômico e social, como a criação de empregos sustentáveis e a melhoria na qualidade de vida, são essenciais para avaliar os benefícios sociais da economia circular. Esses indicadores, juntos, proporcionam um quadro robusto para avaliar o progresso e a efetividade da economia circular.

2.1.1. Economia Circular no Mundo

A economia circular no cenário global emerge como uma resposta crítica aos desafios ambientais, promovendo um sistema econômico mais sustentável e eficiente. Historicamente, a escassez de recursos naturais e limitações geográficas têm sido impulsionadores chave para a adoção de políticas de economia circular.

Atualmente, as políticas de economia circular estão evoluindo rapidamente e permanecem fragmentadas, o que pode ser desafiador para corporações globais. Há uma tendência de mudança do foco em medidas no final da cadeia de consumo para medidas preventivas ou na fonte, como o

eco-design, que é o processo de projetar produtos com especial atenção à minimização do impacto ambiental durante todo o seu ciclo de vida. Até 80% do impacto ambiental de um produto é determinado na fase de design (Ellen Macarthur Foundation, 2022).

Neste período de implementação da economia circular, existem metas de desenvolvimento sustentável criadas pela ONU para acompanhar o compromisso dos países com um futuro mais verde. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são uma coleção de 17 metas globais estabelecidas pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015, como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Estes objetivos abrangem uma ampla gama de questões de desenvolvimento social, econômico e ambiental.

O ODS 12, específico para "Consumo e Produção Responsáveis", tem uma conexão direta com a economia circular. Ele visa promover o uso eficiente de recursos, a redução de resíduos e a minimização do impacto ambiental por meio de práticas sustentáveis de produção e consumo. Isso inclui incentivar as indústrias a adotar processos mais sustentáveis, melhorar a gestão global de resíduos e estimular os consumidores a adotar hábitos de consumo mais sustentáveis. Ao fazer isso, o ODS 12 alinha-se estreitamente com os princípios da economia circular, que busca reduzir o desperdício, reutilizar e reciclar materiais e produtos, e promover um ciclo contínuo de uso e reuso de recursos.

Dado o cenário de que é uma tendência global atingir um desenvolvimento sustentável, é interessante levantar diferentes contextos, políticas e tendências ao redor do globo:

- União Europeia

A União Europeia (UE) e seus Estados-membros estão na vanguarda da promoção da economia circular, com políticas que enfocam na redução do consumo de matérias-primas e no aumento da eficiência dos recursos. Desde meados da década de 2010, a

circularidade passou a integrar as políticas europeias, com medidas rápidas sendo implementadas.

As principais medidas recentes da UE são o Green Deal e o Plano de Ação para a Economia Circular de 2020, que buscam atingir seus objetivos por meio de uma abordagem multifacetada que engloba desde a transformação energética, com ênfase em energias renováveis e eficiência energética, até a reformulação do design de produtos para reduzir o desperdício e incentivar a reutilização e reciclagem. Estas iniciativas incluem regulamentações mais rigorosas sobre o design ecológico, redução do consumo de recursos, e estratégias para diminuir a pegada de carbono. O plano também envolve a implementação de políticas que fomentem a circularidade em vários setores, como indústria, agricultura e transporte, visando criar uma economia que seja sustentável tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Um caso específico que ilustra a implementação do Plano de Ação para a Economia Circular de 2020 na UE é a iniciativa "Right to Repair", ou Direito de Reparo. Esta iniciativa visa aumentar a durabilidade e a reparabilidade dos produtos eletrônicos e de eletrodomésticos, incentivando os fabricantes a projetar produtos que sejam mais fáceis de consertar e manter. A medida é parte de um esforço mais amplo para reduzir o desperdício eletrônico e promover a sustentabilidade.

Fonte: (Why is the EU's right to repair legislation important?, 2023)

- Estados Unidos da América

No contexto do país, a economia circular é predominantemente impulsionada pelo setor privado, em contraste com a abordagem mais regulamentada observada na Europa. Empresas americanas, variando de startups a grandes corporações, têm liderado em inovação e adoção de práticas de economia circular. Isso inclui a implementação de sistemas de produção sustentável, reciclagem avançada e modelos

de negócios baseados na reutilização e na economia de compartilhamento.

Nesta abordagem dos Estados Unidos à economia circular há desafios, principalmente devido à falta de uma política nacional unificada. A gestão de resíduos e práticas de reciclagem variam significativamente entre os estados, refletindo uma política descentralizada. Apesar disso, o país continua sendo um terreno fértil para inovações em sustentabilidade, impulsionadas tanto por considerações econômicas quanto ambientais.

- Japão

A economia circular no país é profundamente enraizada em seu contexto histórico, marcado pela escassez de recursos naturais e pela necessidade de importar a maioria de suas matérias-primas. Esta realidade moldou uma cultura nacional voltada para a eficiência e a conservação de recursos. A rápida industrialização do pós-guerra intensificou os desafios relacionados à gestão de resíduos e à poluição, levando à adoção de políticas ambientais rigorosas. A partir dos anos 90, o Japão intensificou o foco na economia circular, integrando-a em suas políticas e legislações.

No cerne da abordagem japonesa à economia circular está a filosofia de "Mottainai", um termo que reflete o respeito e o não desperdício de recursos. Essa filosofia permeia a sociedade japonesa e é evidente nas práticas diárias de reciclagem e conservação, sendo um dos fatores que fez o Japão alcançar 77% de reciclagem de materiais plásticos em 2010 (Sarmiento, 2012).

O país implementou a Lei para Estabelecer uma Sociedade de Reciclagem em 2000, com base no sistema de 3 R's (Reduce, Reuse and Recycle), para a gestão de resíduos, priorizando a redução na fonte, seguida pela reutilização, reciclagem, recuperação de energia e, por fim, a disposição.

Além das políticas de reciclagem rigorosas, o Japão se destaca pela inovação em design sustentável. Empresas e indústrias são incentivadas a desenvolver produtos que são mais fáceis de reciclar e têm menor impacto ambiental. Essa abordagem integrada reflete o compromisso do Japão com a sustentabilidade e a economia circular, servindo como um exemplo global de eficiência de recursos e gestão ambiental responsável.

- China

O contexto histórico da economia circular na China é marcado pela rápida industrialização e crescimento econômico do país, que levou a desafios significativos em termos de poluição e gestão de recursos. Para lidar com esses desafios, o governo chinês iniciou a implementação de políticas de economia circular como parte de seu plano de desenvolvimento sustentável. A abordagem chinesa é ampla, abrangendo desde a legislação até a promoção de indústrias sustentáveis.

Entre as políticas nacionais, destaca-se a "Lei de Promoção da Economia Circular" de 2008, um marco regulatório que visa otimizar o uso de recursos e minimizar a geração de resíduos. Essa lei incentiva a reciclagem e a reutilização, enfatizando a importância de processos industriais mais sustentáveis e o desenvolvimento de tecnologias verdes. A legislação reflete o compromisso da China em integrar a sustentabilidade em seu modelo de crescimento econômico.

Na prática, a China implementou vários projetos e iniciativas para promover a economia circular. Isso inclui o desenvolvimento de parques industriais ecológicos, onde recursos são compartilhados e o desperdício é minimizado, e investimentos em infraestrutura de reciclagem. Além disso, a China tem incentivado a inovação em design sustentável e tecnologias de reciclagem, visando a redução do impacto ambiental e a melhoria da eficiência no uso de recursos. Esses

esforços posicionam a China como um player importante na economia circular global.

O Yeji Economic Development Zone, situado na cidade de Lu'an, Província de Anhui, China, é um exemplo pioneiro de transformação circular em parques industriais, iniciado em 2015. Focando na sustentabilidade e na eficiência de recursos, este parque industrial adotou práticas de economia circular que resultaram em aumentos significativos de eficiência, incluindo um aumento de 2,8% na taxa de saída de recursos, 60% na taxa de utilização de resíduos sólidos industriais e duplicação na reutilização de água industrial. Além disso, promoveu a reorganização empresarial visando a diferenciação, redução de custos e reciclagem, estabelecendo cadeias de economia circular em setores como móveis, bambu, e bioenergia, conseguindo assim uma integração socioeconômica regional eficaz e o desenvolvimento de um modelo de negócio sustentável que maximiza o uso de todos os recursos disponíveis (Industrial symbiosis: practices in China's industrial parks, 2021).

2.1.2. Economia Circular no Brasil

O desenvolvimento da economia circular no Brasil está intrinsecamente ligado à evolução global do pensamento sobre sustentabilidade. No século XX, a consciência global sobre questões ambientais cresceu significativamente, especialmente após eventos e publicações influentes como o relatório "Limites do Crescimento" do Clube de Roma e o relatório "Nosso Futuro Comum" da ONU. A Eco-92, realizada no Rio de Janeiro, foi fundamental para solidificar a agenda de sustentabilidade e introduzir o conceito de desenvolvimento sustentável. Neste contexto, o Brasil começou a incorporar gradualmente os princípios de sustentabilidade em sua política ambiental e práticas empresariais.

No início do século XXI, a economia circular ganhou reconhecimento no Brasil, influenciada pelas tendências globais e pela necessidade de modelos econômicos sustentáveis. A implementação da PNRS em 2010

marcou um ponto de virada, estabelecendo diretrizes para a gestão de resíduos e promovendo a logística reversa. Desde então, houve um aumento na adoção de práticas de economia circular, a exemplo, o país alcançou 23,4% de reciclagem dos materiais plásticos em 2021 (Revista Exame, 2022), demonstrando o comprometimento do país em atingir índices de uma economia circular expressiva.

No contexto industrial, a economia circular apresenta-se como uma estratégia fundamental para o avanço sustentável. Com sua rica biodiversidade e forte base agrícola, o Brasil possui um potencial único para implementar práticas circulares que maximizem o uso eficiente dos recursos naturais. A indústria brasileira, enfrentando o desafio de equilibrar crescimento econômico com sustentabilidade, encontra na economia circular uma oportunidade de reinventar seus processos produtivos. Isso envolve a adoção de tecnologias inovadoras, práticas de reciclagem e reutilização de materiais, e a integração de princípios de ecodesign nos produtos. Tais práticas não só contribuem para a redução do impacto ambiental, mas também para a criação de um modelo econômico mais resiliente e adaptado às demandas de um mercado global cada vez mais voltado para a sustentabilidade.

Atualmente, 76,4% já adotam alguma prática de economia circular, incluindo reúso de água, reciclagem de materiais e logística reversa, embora muitas delas não reconheçam essas práticas como parte da economia circular (CNI, 2019).

Figura 2 - Pesquisa do CNI “Economia circular e a indústria”



Fonte: Brasil tem tudo para ser referência na economia circular, CNI - 2021

Em suma, a rica biodiversidade e capacidade agrícola apresenta oportunidades significativas para o país inovar em sustentabilidade, assim como já ocorre práticas na indústria (mostrado na figura acima) e no uso do bagaço cana-de-açúcar como fonte de energia. Entretanto, o cenário atual é desafiador em outros pontos, com o país apresentando uma infraestrutura inadequada, necessidade de maior conscientização pública e implementação efetiva das leis existentes.

2.2. Biomassa

Biomassa é um termo que se refere a qualquer material biológico que pode ser utilizado como fonte de energia dentro de um sistema sustentável. Importante no contexto da economia circular, a biomassa se destaca por ser uma opção renovável, derivada de variadas fontes como plantas, resíduos agrícolas e subprodutos orgânicos. Sua utilização é estratégica para a geração de energia limpa e para a gestão eficiente de resíduos, contribuindo para um ciclo de produção e consumo que favorece a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental.

Um dos pilares fundamentais para entender a contribuição da biomassa na economia circular do Brasil é identificar e compreender as principais fontes de biomassa disponíveis no país. O Brasil, com sua vasta biodiversidade e forte setor agroindustrial, oferece uma variedade de biomassa que pode ser utilizada para a geração de energia renovável e sustentável. Essas fontes não apenas representam alternativas energéticas importantes, mas também desempenham um papel crucial na minimização do impacto ambiental e na promoção de um ciclo produtivo mais sustentável. A seguir, apresenta-se biomassas importantes dentro da economia brasileira.

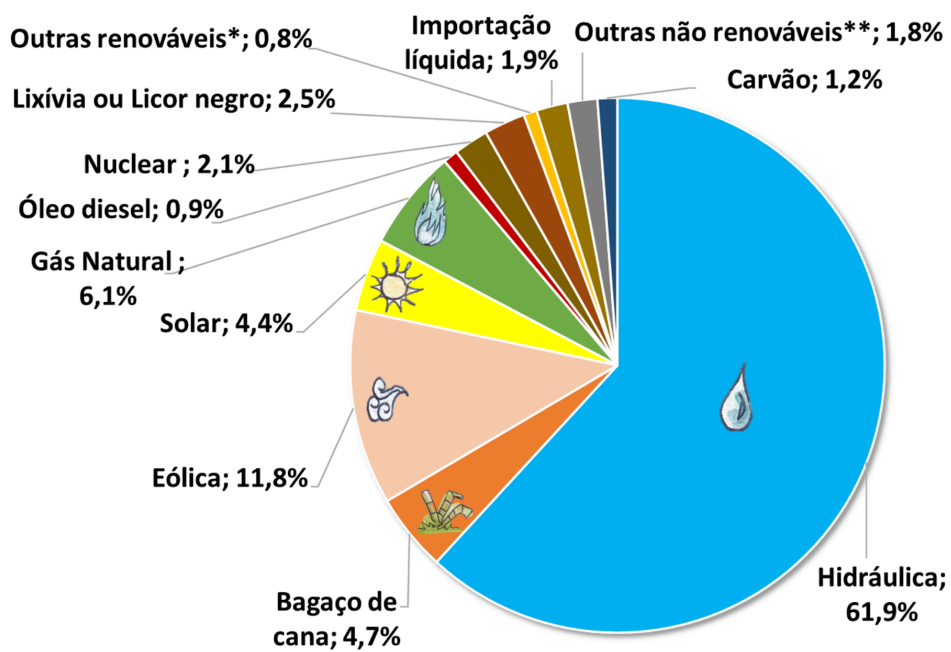
- Bagaço de Cana-de-Açúcar: Usado para cogeração de energia e produção de etanol, também utilizado na criação de ração animal.
- Resíduos de Madeira: Empregados na geração de energia renovável, principalmente pelo setor de papel e celulose e produção de MDF e outros produtos de construção civil.
- Lenha: Utilizada para cocção, aquecimento e geração de eletricidade em pequenas escalas.
- Carvão vegetal: Principalmente usado na indústria siderúrgica.
- Resíduos Agrícolas: produção de ração animal, adubo e energia
- Dejetos Animais e Resíduos de Alimento: Utilizados na produção de biogás.
- Efluentes de Estações de Tratamento de Águas Residuais: Utilizados na produção de biogás.
- Cascas de Arroz: Empregadas na geração de energia, produção de sílica, substrato para cultivo e produção de material na construção civil.

- Palha de Milho: Usada na produção de bioenergia, incluindo biogás e combustíveis sólidos.
- Resíduos do Processamento de Laranja: Utilizados para a produção de energia, biogás e ração animal.

A geração de bioeletricidade no Brasil, especialmente a partir da biomassa da cana-de-açúcar, tem demonstrado um crescimento significativo. Em 2023, a oferta de energia elétrica para a rede a partir da biomassa da cana-de-açúcar aumentou consideravelmente. Nos primeiros meses do ano, houve um aumento de quase 30% na geração de bioeletricidade em comparação com o mesmo período do ano anterior (UNICA, 2023), o que é notável, especialmente considerando que esse período inclui a entressafra da cana. Esse aumento na geração de bioeletricidade representa não apenas uma contribuição significativa para a matriz energética do país, mas também um avanço importante na direção de uma fonte de energia mais sustentável e renovável.

Atualmente, a biomassa da cana-de-açúcar representa uma parcela substancial da capacidade instalada de bioeletricidade no Brasil: 4,7% (mostrado na figura abaixo), com cinco estados brasileiros detendo a maior parte dessa capacidade. A bioeletricidade proveniente da cana, incluindo o bagaço e a palha, é utilizada para garantir autossuficiência energética para as usinas e também contribui significativamente para a rede elétrica nacional. Essa tendência de crescimento na produção de bioeletricidade reflete a crescente importância das fontes de energia renováveis no Brasil e destaca o potencial do país em liderar iniciativas sustentáveis no setor energético.

Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira 2022



Fonte: EPE - Matriz Energética e Elétrica, 2022

2.3. Políticas Nacionais

No contexto das políticas brasileiras voltadas para a economia circular, observa-se um movimento progressivo em direção à sustentabilidade e eficiência no uso de recursos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, representa um marco neste sentido. Esta política estabelece diretrizes para a gestão integrada e o manejo ambientalmente responsável dos resíduos sólidos, promovendo práticas de reciclagem, reutilização e redução de resíduos. A implementação da PNRS reflete o compromisso do Brasil com os objetivos ambientais globais e destaca a importância da gestão eficaz de resíduos na promoção de uma economia circular.

Um dos aspectos mais significativos da PNRS é a ênfase na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Isso significa que fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos têm responsabilidades específicas na gestão e no manejo dos resíduos.

A PNRS também introduz o conceito de logística reversa, que é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Outro ponto relevante da PNRS é a ênfase na elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos, que devem ser desenvolvidos tanto em âmbito nacional quanto pelos estados, municípios e pelo Distrito Federal, além de exigir planos específicos para resíduos de saúde e da construção civil.

Além da PNRS, o Brasil tem investido em iniciativas de economia verde, buscando integrar considerações ambientais em políticas econômicas. Essas iniciativas visam fomentar práticas sustentáveis em diferentes setores, como agricultura, manufatura e energia, alinhando o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. O incentivo à adoção de tecnologias limpas e a inovação são fundamentais nesses esforços, criando oportunidades para o desenvolvimento de negócios sustentáveis e novos empregos.

3. Metodologia

Este trabalho adota uma abordagem exploratória e descritiva para analisar o papel da biomassa na economia circular do Brasil. A pesquisa é de natureza qualitativa, focando na compreensão aprofundada das dinâmicas, políticas e práticas associadas à biomassa no contexto brasileiro.

A pesquisa baseia-se principalmente em dados secundários. Estes são coletados de fontes diversas, incluindo artigos acadêmicos, relatórios de instituições como a CNI, Fundação Ellen MacArthur e UNICA, além de outras publicações governamentais e não governamentais relevantes para o tema. Esses materiais são fundamentais para compreender as políticas atuais, as tecnologias empregadas e as tendências no uso da biomassa no Brasil.

A análise dos dados coletados será realizada por meio de análise de conteúdo. Esta técnica permitirá identificar, codificar e categorizar os padrões e temas relevantes dentro dos dados. A análise será apoiada por uma revisão bibliográfica abrangente, assegurando que a interpretação dos dados esteja alinhada com o conhecimento atual no campo da bioenergia e economia circular.

Este estudo reconhece limitações, como a dependência de dados secundários e o foco geográfico no Brasil. Tais limitações são reconhecidas para contextualizar os resultados e conclusões dentro do escopo definido.

4. Discussões

Dado o contexto histórico levantado da economia circular em diferentes partes do mundo, é possível obter diferentes inspirações para o cenário brasileiro. Começando pela União Europeia, a economia circular é impulsionada por políticas ambiciosas e abrangentes, como o Green Deal, que visam reduzir o consumo de recursos e aumentar a eficiência. Em contraste, nos Estados Unidos, a economia circular é mais orientada pelo setor privado, com empresas inovando em produção sustentável e reciclagem avançada. Essas diferenças fornecem ideias valiosas para o Brasil, onde a economia circular ainda está em um estágio de desenvolvimento mais primário, destacando a importância de políticas integradas e o potencial do envolvimento do setor privado.

O Japão e a China oferecem outros modelos: o Japão adota uma abordagem baseada na eficiência de recursos, influenciada pela sua escassez de recursos naturais, enquanto a China segue um caminho legislativo forte, exemplificado pela Lei de Promoção da Economia Circular. Esses modelos podem inspirar o Brasil a buscar eficiência e inovação em design sustentável, bem como a considerar o impacto de políticas regulatórias fortes para promover práticas de economia circular.

Integrando essas lições internacionais, o Brasil pode fortalecer sua abordagem à economia circular. Inspirado pela UE, o Brasil pode desenvolver políticas mais holísticas, enquanto a dinâmica do setor privado dos EUA e a inovação japonesa em design sustentável podem servir como exemplos. Essa adaptação ao contexto brasileiro, com foco na biodiversidade e recursos agrícolas, pode impulsionar práticas sustentáveis e uma maior integração da economia circular no modelo econômico do país.

Por outro lado, formou-se, na revisão bibliográfica, um panorama abrangente sobre a economia circular e o papel multifacetado da biomassa. Além de sua contribuição significativa para a matriz energética, a biomassa desempenha papéis diversos no contexto brasileiro. Destacou-se como a biomassa é utilizada na produção de biocombustíveis, indústria sucro-alcooleira, materiais de construção, e até mesmo na indústria química, expandindo seu valor além da geração de energia.

A discussão aponta que, para o Brasil, aproveitar a biomassa não se restringe à substituição de fontes de energia, mas envolve uma visão integrada que engloba aspectos sociais, econômicos e ambientais. Isso inclui o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, a criação e implementação efetiva de políticas públicas eficientes e a promoção da consciência ambiental, visando uma transformação sustentável e inclusiva no uso dos recursos naturais.

Na relação entre biomassa e economia circular, um aspecto crucial é o seu papel na redução de resíduos e na promoção de um ciclo produtivo sustentável. A biomassa, proveniente de fontes diversas como resíduos agrícolas, florestais e urbanos, é transformada em produtos de valor agregado, como energia, biocombustíveis, e materiais biodegradáveis. Este processo minimiza o desperdício e maximiza a utilização eficiente dos recursos naturais.

Bem como, a biomassa fomenta a inovação tecnológica. A busca por métodos mais eficientes e sustentáveis para o processamento de biomassa estimula a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. Isso resulta em novas aplicações e produtos que podem substituir materiais e fontes de energia menos sustentáveis.

A legislação brasileira também tem um papel fundamental na implementação da biomassa na economia circular. Leis como a Política Nacional de Resíduos Sólidos incentivam a gestão sustentável de resíduos e a reciclagem, criando um ambiente favorável para a utilização de biomassa. A legislação pode estabelecer diretrizes claras para o aproveitamento de resíduos orgânicos e agrícolas, estipulando padrões e incentivos para o uso de biomassa em diversas indústrias.

Adicionalmente, políticas e regulamentações específicas podem apoiar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para a conversão de biomassa, assim como facilitar parcerias público-privadas para projetos de bioenergia. Incentivos fiscais e subsídios podem ser estratégias efetivas para encorajar o investimento em infraestrutura relacionada à biomassa e para promover a adoção de práticas de economia circular pelas indústrias. A legislação, portanto, desempenha um papel crucial na criação de um mercado sustentável para a biomassa, alinhando os interesses econômicos com as metas de sustentabilidade ambiental.

Além de que, a integração da biomassa na economia circular no Brasil tem um impacto socioeconômico significativo. Promove o desenvolvimento rural, gera empregos e cria oportunidades de mercado, especialmente em regiões onde a biomassa é abundantemente disponível. Isso contribui para uma economia mais equilibrada e distribuída, reduzindo disparidades regionais e incentivando um desenvolvimento sustentável mais amplo.

Por fim, o papel do engenheiro químico é essencial na incorporação da biomassa na economia circular do Brasil, atuando na vanguarda da inovação e da sustentabilidade. Esta atuação envolve o desenvolvimento e aprimoramento de processos químicos e bioquímicos para a transformação eficiente de biomassa em energia e outros produtos valiosos. O foco está na otimização de processos para maximizar a eficiência energética, minimizar o impacto ambiental e promover o uso sustentável dos recursos. A expertise técnica desses profissionais é crucial para o avanço de soluções inovadoras que aliam os princípios da economia circular com os objetivos de sustentabilidade ambiental e desenvolvimento econômico do Brasil.

5. Conclusão

Para concluir, pode-se destacar que o estudo evidenciou a importância crescente da biomassa como um elemento chave na transição para uma economia mais circular e sustentável no Brasil. O potencial da biomassa vai além da geração de energia, abrangendo diversos setores e contribuindo para a redução de resíduos e a otimização de recursos. Além disso, a implementação efetiva de políticas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o fortalecimento de legislações voltadas à economia circular são essenciais para maximizar o uso da biomassa de maneira sustentável. O trabalho também ressalta que, embora existam desafios significativos, como a necessidade de mais inovações tecnológicas e uma maior conscientização pública, o Brasil possui um potencial único devido à sua rica biodiversidade e capacidade agrícola, colocando-o em uma posição estratégica para liderar esforços em direção a um futuro mais sustentável.

6. Referências

Confederação Nacional da Indústria (CNI). Economia circular: entenda o que é, suas características e benefícios. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia-circular/>>. Acesso em: 04/01/2023.

Confederação Nacional da Indústria (CNI). Brasil tem tudo para ser referência na economia circular. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/posicionamentos/brasil-tem-tudo-para-ser-referencia-na-economia-circular/>>. Acesso em: 04/01/2023.

Confederação Nacional da Indústria (CNI). 76,4% das indústrias desenvolvem alguma iniciativa de economia circular, mostra pesquisa da CNI. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/764-das-industrias-desenvolvem-alguma-iniciativa-de-economia-circular-mostra-pesquisa-da-cni/>>. Acesso em: 04/01/2023.

Comissão Europeia. European Green Deal. Disponível em: <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en>. Acesso em: 30/12/2023.

Direção-Geral de Atividades Económicas (DGAE). Novo Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular. Disponível em: <<https://www.dgae.gov.pt/comunicacao/noticias/novo-plano-de-acao-da-uniao-europ-eia-para-a-economia-circular.aspx>>. Acesso em: 30/12/2023.

Ernst & Young Global Limited (EY). Circular economy: Navigating the evolving global policy landscape. Disponível em: <https://www.ey.com/en_us/chemicals/circular-economy-navigating-the-evolving-global-policy-landscape>. Acesso em: 02/01/2024.

Fundação Ellen MacArthur. Universal Policy Goals: Overview. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/universal-policy-goals/overview>>. Acesso em: 03/01/2024.

Fundação Ellen MacArthur. An Introduction to Circular Design. Disponível em:
<<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/an-introduction-to-circular-design>>.
Acesso em: 30/12/2023.

Circular Economy Earth. How Japan is using the circular economy to recycle plastics.
Disponível em:
<<https://circulareconomy.earth/publications/how-japan-is-using-the-circular-economy-to-recycle-plastics>>. Acesso em: 01/01/2024.

GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO JAPÃO: HISTÓRIA E ATUALIDADE. Disponível em:
<<https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/viewFile/1082/1171>>.
Acesso em: 01/01/2024.

Exame. Produção de plásticos reciclados pós-consumo cresce no Brasil. Disponível em:
<<https://exame.com/esg/producao-de-plasticos-reciclados-pos-consumo-cresce-no-brasil/>>. Acesso em: 04/01/2024.

Universidade de São Paulo (USP). Economia circular: oportunidades e desafios. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7328829/mod_resource/content/1/Economia_circular_oportunidades_desafios.pdf>. Acesso em: 05/01/2024.

Mata Nativa. Setor de biomassa no Brasil. Disponível em:
<<https://matanativa.com.br/setor-de-biomassa-no-brasil/>>. Acesso em: 06/01/2024.

Ciência Hoje. Biomassa brasileira. Disponível em:
<<https://cienciahoje.org.br/privado/biomassa-brasileira/>>. Acesso em: 06/01/2024.

Armac. Tipos de Biomassa. Disponível em:
<<https://armac.com.br/blog/agronegocio/tipos-de-biomassa/>>. Acesso em:
06/01/2024.

Presidência da República do Brasil. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em:
<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305>.

eCycle. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em:
<<https://www.ecycle.com.br/politica-nacional-de-residuos-solidos/>>. Acesso em:
06/01/2024.

SciELO. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=msc0000000022006000200021&script=sci_arttext>. Acesso em: 06/01/2024.

SciELO. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=msc0000000022006000200021&script=sci_arttext>. Acesso em: 06/01/2024.

ECONOMIA CIRCULAR E ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Disponível em:
<<https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/30>>. Acesso em:
12/01/2024.

Economia Circular: uma análise das estruturas de governança. Disponível em:
<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3136/tde-12042021-155758/es.php>>.
Acesso em: 12/01/2024.

Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos
produtivos locais. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/inter/a/nWBqSY5NCNtpj6r74WyfZVB/>>. Acesso em:
12/01/2024.

The significance of biomass in a circular economy. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420300249>>. Acesso
em: 12/01/2024.

ECONOMIA CIRCULAR: UM PANORAMA DO ESTADO DA ARTE DAS POLÍTICAS
PÚBLICAS NO BRASIL. Disponível em:
<<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4354>>. Acesso em: 12/01/2024.

Níveis de implementação da economia circular: micro, meso e macro. Disponível em:
<<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15831>>. Acesso em: 12/01/2024.

Industrial symbiosis: practices in China's industrial parks. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/factsreports/6635>>. Acesso em: 10/01/2024.

Why is the EU's right to repair legislation important?. Disponível em: <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231117IPR12211/new-eu-rules-encouraging-consumers-to-repair-devices-over-replacing-them>>. Acesso em: 10/01/2024.

Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 12/01/2024.