

TECNOLOGIAS DE BIORREFINARIAS E POTENCIAL DE AGREGAÇÃO DE VALOR ÀS CADEIAS PRODUTIVAS DO AGRONEGÓCIO

BERNARDO DILLENBURG NUNES

DIEGO DURANTE MÜHL

UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

LETICIA DE OLIVEIRA

Introdução

Os recursos provenientes da biomassa possuem potencial de suprir diversas demandas da sociedade, portanto o biorrefino é considerado um elemento importante na estrutura da bioeconomia. Citam-se três forças principais que direcionam os governos para a implementação da bioeconomia: assegurar acesso à energia a preços acessíveis, contemplar as energias renováveis visando alterar o quadro de mudanças climáticas, e desenvolver a atividade agrícola. A prioridade destas três forças varia a depender do país.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Caracterizar as tecnologias de biorrefinarias por meio do acesso às patentes registradas. As tecnologias serão brevemente descritas e relacionadas aos resíduos produzidos pela atividade econômica do agronegócio com maior potencial de aproveitamento em sua cadeia produtiva. Ao final, serão descritas características deste novo mercado, ressaltando desafios, carências e oportunidades.

Fundamentação Teórica

A bioeconomia consiste na utilização de recursos renováveis e biológicos para a produção de bens. “Biorrefinaria” pode ser definida como uma tecnologia que utiliza resíduos como biomassa e os transforma, por meio de processos químicos, físicos e/ou biológicos, em bioprodutos como bens de consumo finais ou como bens intermediários para a geração de novos bioprodutos. O termo “resíduo” refere-se a materiais gerados involuntariamente durante o processo produtivo, mas que não são considerados desprovidos de valor.

Metodologia

Utilizou o Google Patents para coletar os dados sobre as patentes de biorrefinarias. Usou-se a palavra-chave “biorefinery”. Foram feitas 19 pesquisas de texto com a palavra original adicionada ao código da subclasse, conforme Cooperative Patent Classification (CPC). Realizou-se o download dos 19 bancos de dados por cada pesquisa, para os quais verificou-se a existência e remoção de repetições de patentes duplicadas. Os 19 arquivos foram unificados em um único banco de dados, com 11.133 amostras. Foram consideradas 4 variáveis de análise: title, assignee, inventor/author e publication date.

Análise dos Resultados

Registrou-se um aumento recente expressivo na quantidade de publicações de patentes. Também houve diversificações nas subclasses de patentes, em especial referentes a processos com enzimas, o que indica um enfoque da sociedade neste tipo de tecnologia. Resíduos de produtos como arroz, trigo, milho, centeio, cana de açúcar e algumas frutas podem ser aproveitados para a utilização de sua lignocelulose ou para a liberação de enzimas utilizadas em métodos de pré-tratamento de lignocelulose e outros produtos intermediários e finais.

Conclusão

Os avanços em pesquisas, inovações tecnológicas e publicações de patentes de biorrefinarias constituem instrumentos para a implementação da bioeconomia. A partir da valorização de resíduos é possível agregar positivamente às cadeias produtivas e à sustentabilidade por meio da: substituição de produtos convencionais por bioprodutos sustentáveis; abertura de canal comercial entre produtores agrícolas e os detentores das biorrefinarias; facilitação do processo produtivo agrícola; e redução de descartes inadequados ao ambiente.

Referências Bibliográficas

ARPIT SINGH, T. et al. Valorization of agro-industrial residues for production of commercial biorefinery products. *Fuel*, v. 322, p. 124284, ago. 2022.
CONTERATTO, C. Perspectivas epistemológicas do conceito de biorrefinaria para o desenvolvimento da bioeconomia no Brasil. 2020. HINGSAMER, M.; JUNGMEIER, G. Biorefineries. Em: *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy*. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 179–222. LANGE, J.-P. Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 1, n. 1, p. 39–48, set. 2007.

Palavras Chave

biorrefinaria, resíduos, bioeconomia

TECNOLOGIAS DE BIORREFINARIAS E POTENCIAL DE AGREGAÇÃO DE VALOR ÀS CADEIAS PRODUTIVAS DO AGRONEGÓCIO

1. INTRODUÇÃO

No século XX, a demanda por energia foi suprida essencialmente por combustíveis fósseis, causadores da expansão dos gases de efeito estufa na atmosfera e das alterações climáticas. Diante deste contexto, o bioetanol rapidamente se tornou um exemplo de combustível não fóssil e renovável, servindo como produto substituto aos combustíveis anteriormente utilizados, sendo, portanto, uma fonte de energia renovável e contribuinte para a redução de gases de efeito estufa (BALLESTEROS et al., 2006).

O bioetanol pode ser produzido utilizando-se de derivados do açúcar e do amido, contudo a utilização destes produtos como matéria-prima para este fim compete com a sua utilização como recurso para alimentação humana. Desta forma, a destinação destes recursos para consumo alimentício seria encarecida, e a expansão das áreas de plantação de açúcar e amido resultaria em danos florestais (TAHERZADEH; KARIMI, 2007)

Atualmente, a biomassa passa a ser percebida como o insumo de maior potencial de aproveitamento no contexto de desenvolvimento sustentável, devido à abundância deste recurso na natureza. Contudo a produção e o consumo são consolidados em outros tipos de recursos, trazendo a necessidade de investimento em capital humano e financeiro para melhor aproveitar esta ampla disponibilidade (SALVADOR et al., 2021).

A biomassa pode ser utilizada como um importante instrumento para atingir-se um modelo de bioeconomia. Citam-se três forças principais que direcionam os governos para a implementação da bioeconomia: assegurar acesso à energia a preços acessíveis, contemplar as energias renováveis visando alterar o quadro de mudanças climáticas, e desenvolver a atividade agrícola. A prioridade destas três forças varia a depender do país (LANGE, 2007). A bioeconomia consiste na utilização de recursos renováveis e biológicos para a produção de bens de consumo e de energia. Recursos provenientes da biomassa possuem potencial de suprir diversas demandas da sociedade, portanto o biorrefino é considerado um elemento importante na estrutura da bioeconomia. (HINGSAMER; JUNGMEIER, 2019).

“Biorrefinaria” pode ser definida como uma tecnologia que utiliza resíduos, provenientes dos reinos *monera*, *protista*, *plantae*, *animália* e *fungi*, de origem terrestre ou aquática, como biomassa e os transforma, por meio de processos químicos, físicos e/ou biológicos, em bioprodutos como bens de consumo finais ou como bens intermediários para a geração de novos bioprodutos (CONTERATTO, 2020). O conceito de biorrefinaria visa a produção de biocombustíveis, bioenergia e biomateriais, contemplando a sustentabilidade não apenas por meio da utilização de biomassa, mas também sendo um processo de reciclagem de resíduos, além de ser isento de emissão de carbono. A biorrefinaria moderna é análoga a uma refinaria de petróleo, em que uma quantidade de matéria prima é introduzida à instalação e, por meio de um arranjo de processos, o material é fracionado e convertido em bioprodutos (RAGAUSKAS et al., 2006).

Visando agregar à literatura sobre esta tecnologia, este artigo tem como objetivo caracterizar as tecnologias presentes nas biorrefinarias por meio do acesso às patentes registradas. As tecnologias serão brevemente descritas e relacionadas aos resíduos produzidos pela atividade econômica do agronegócio com maior potencial de aproveitamento em sua cadeia produtiva. Ao final, serão descritas características deste novo mercado, ressaltando desafios, carências e oportunidades. Também serão discutidas as características econômicas para a tecnologia, de biorrefino, expondo os desafios e oportunidades dispostos.

A motivação da pesquisa se dá pela relevância de contemplar alternativas sustentáveis em detrimento da utilização de insumos de disponibilidade limitada e causadores de problemas

ambientais, como combustíveis fósseis. Os impactos da promoção das tecnologias de biorrefino estão diretamente relacionados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável de números 2, 7, 9, 11, 12, 13, 14 e 15, além de atingir os demais de forma indireta.

2. METODOLOGIA

Para a obtenção de dados sobre as patentes de biorrefinarias utilizou-se a plataforma Google Patents. A escolha por esta plataforma se deu por sua praticidade de uso. Selecionou-se a palavra-chave “*biorefinery*” com o objetivo de capturar a maior amplitude de tecnologias relacionadas, e a palavra não foi utilizada com o caractere “*” (indicando seu plural) por esta opção apresentar uma quantidade inferior de resultados. O resultado da pesquisa foi segregado pela plataforma por cada uma das 19 subclasses correspondentes a todas as patentes encontradas, permitindo uma nova pesquisa para cada subclasse. Assim, foram feitas 19 novas pesquisas de texto automaticamente gerado pela plataforma, com a palavra original adicionada ao código da subclasse, de acordo com a Cooperative Patent Classification (CPC), no formato (*biorefinery*) (*código da subclasse*). A tabela 1 apresenta o resultado das pesquisas realizadas por subclasse.

Tabela 1 – Resultados de pesquisa na plataforma Google Patents

Palavra chave	Resultado de pesquisa	Amostras geradas com o download	Repetições
(biorefinery) (B01D)	191	191	0
(biorefinery) (B01J)	468	426	0
(biorefinery) (C07C)	3.196	2.741	0
(biorefinery) (C07D)	219	219	0
(biorefinery) (C07G)	179	179	0
(biorefinery) (C08B)	224	205	0
(biorefinery) (C08H)	690	383	0
(biorefinery) (C08L)	283	279	0
(biorefinery) (C10G)	959	871	0
(biorefinery) (C10L)	343	298	0
(biorefinery) (C11B)	96	96	0
(biorefinery) (C12M)	214	214	0
(biorefinery) (C12N)	1.553	1.012	1
(biorefinery) (C12P)	2.170	1.316	1
(biorefinery) (C12Y)	1.154	459	0
(biorefinery) (C13K)	204	185	0
(biorefinery) (D21C)	357	296	0
(biorefinery) (Y02E)	1.744	1.128	0
(biorefinery) (Y02P)	2.066	637	0
Total	16.310	11.135	2

Fonte: Google Patents, 2022.

Realizou-se o download de cada um dos 19 bancos de dados gerados por cada pesquisa, para os quais verificou-se a existência e remoção de repetições de patentes duplicadas (conforme ilustra a tabela 1). Em seguida, os 19 arquivos foram unificados em um banco de dados único, com 11.133 amostras.

Do banco de dados gerado pelo Google Patents foram tomadas 4 variáveis de análise: *title*, *assignee*, *inventor/author* e *publication date*. Foram excluídas todas as amostras com conteúdo em branco em uma ou mais variáveis supracitadas. Deste modo, restaram 10.921 amostras, nas quais predominam repetições devido à classificação de uma mesma patente em mais de uma CPC. A quantidade de patentes exclusivas é de 7.452 amostras.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos deste banco de dados visando caracterizar as patentes de biorrefinarias. Para interpretação e discussão dos resultados, utilizar-se-á da revisão da literatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Tecnologias em patentes de biorrefinarias

Inicialmente todas as subclasses registradas em patentes foram contabilizadas, considerando diversas classificações para uma mesma patente publicada. A contagem possui o total de 10.921 subclasses para 7.452 patentes publicadas, com média de 1,47 subclasses por patente, como demonstra a tabela 2.

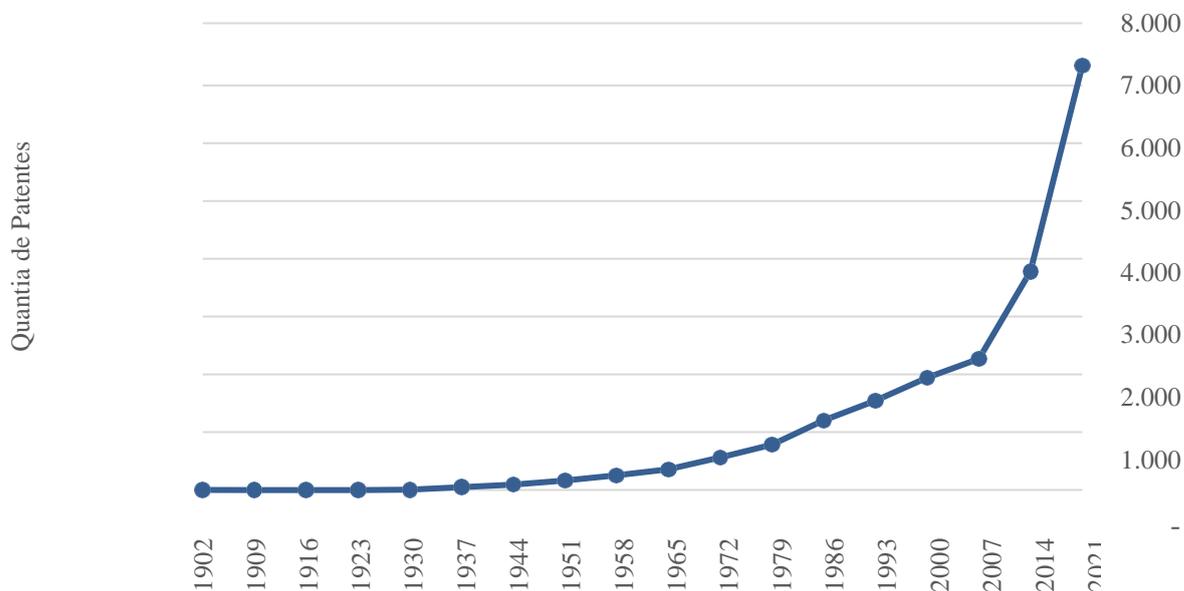
Tabela 2 – Contagem das subclasses

CPC	Contagem	%
B01D	191	1,75%
B01J	426	3,90%
C07C	2.566	23,50%
C07D	219	2,01%
C07G	179	1,64%
C08B	203	1,86%
C08H	383	3,51%
C08L	279	2,55%
C10G	844	7,73%
C10L	297	2,72%
C11B	95	0,87%
C12M	213	1,95%
C12N	1.011	9,26%
C12P	1.314	12,03%
C12Y	458	4,19%
C13K	185	1,69%
D21C	295	2,70%
Y02E	1.127	10,32%
Y02P	636	5,82%
Total	10.921	100,00%

Fonte: Google Patents

A partir do banco de dados gerado, foram extraídas as análises a seguir. A Figura 1 apresenta a disposição da quantia total de patentes desde o início da contagem história até o ano de 2021. Para todas as análises temporais excluiu-se o ano de 2022, visto que este ainda não está encerrado no momento da produção deste trabalho.

Figura 1 - Evolução temporal de patentes publicadas (acumulado até 2021)

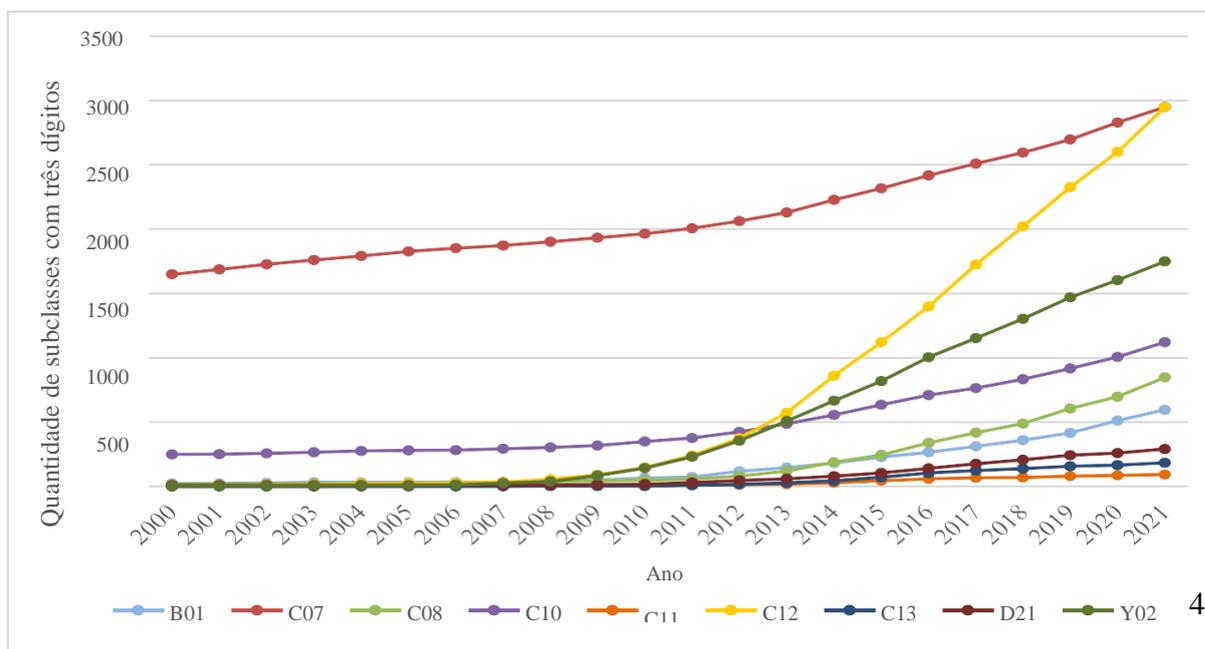


Fonte: Elaborado com dados da pesquisa, 2022

A partir da Figura 1 é possível observar uma aceleração do crescimento da quantidade de patentes a partir dos anos 2000, em especial na última década. Enquanto a quantidade de novas patentes publicadas se manteve abaixo de 100 do início da série até o ano de 2009, passou a não possuir registros anuais inferiores a 100 a partir do ano de 2010.

A Figura 2 demonstra o comportamento temporal da quantidade de subclasses com três dígitos a partir dos anos 2000. Lembra-se da incidência de registros de mais de uma classe em uma mesma patente, e da exclusão do ano de 2022.

Figura 2 – Evolução temporal de subclasses registradas em patentes publicadas

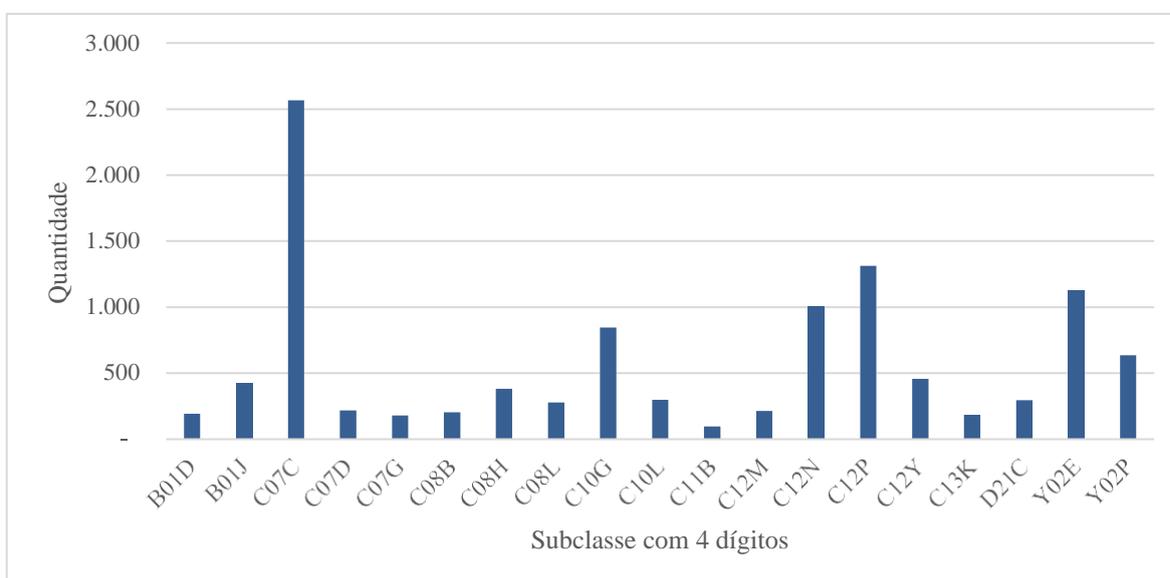


Fonte: Elaborado com dados da pesquisa, 2022

Comparando com a figura 2, percebe-se que a maioria das patentes publicadas até o ano 2000 são de apenas duas subclasses: C07 e C10. Esta tendência passa a ser alterada principalmente a partir da década de 2010, quando se inicia uma maior diversificação de subclasses registradas em patentes. Destaca-se o crescimento abrupto de registros da subclasse C12 (2.939) quase igualando o número de registros da subclasse C07 (2.941), a mais relevante historicamente.

Na Figura 3 é possível contemplar a discussão dos resultados apresentados acima, pois será exposta a contagem absoluta de subclasses com quatro dígitos. Foram consideradas todas as patentes registradas até o presente momento, portanto contabilizando os registros do ano de 2022.

Figura 3 – Contagem de subclasses registradas em patentes publicadas



Fonte: Elaborado com dados da pesquisa, 2022

A subclasse C07C constitui maior destaque, caracterizando 2.566 das patentes analisadas, ou seja, 34,43% das 7.452 patentes publicadas. Esta subclasse caracteriza processos envolvendo compostos acíclicos ou carbocíclicos, sendo estes hidrocarbonetos (ver Tabela 3). Já a subclasse C10G tem uma quantidade de 844 registros, representando 11,33% do total de patentes publicadas. Esta subclasse refere-se principalmente a processos envolvendo hidrocarbonetos, em produtos como óleos, líquidos e gases (ver Tabela 3).

Destaca-se o uso de métodos bioquímicos e termoquímicos para converter a biomassa de plantas em hidrocarbonetos como halocarbonos, alcenos e aromáticos. Diversas pesquisas demonstraram que muitos compostos orgânicos estão presentes diretamente na biomassa de plantas ou por químicos intermediários que são obtidos desta biomassa (MARSHALL; ALAIMO, 2010).

Também pode-se destacar as subclasses C12P e C12N caracterizando, respectivamente 17,63% e 13,57% (em números absolutos 1.314 e 1.011) do total de patentes publicadas. A classe C12P representa processos de fermentação ou com utilização de enzimas para síntese de composição ou composto químico, enquanto a classe C12N refere-se ao envolvimento de microrganismos ou enzimas, engenharia genética ou de mutações, e meios de cultura (ver Tabela 3).

As subclasses citadas junto às demais que compõem a subclasse C12, a citar, C12M e C12Y (registradas em 213 e 458 das patentes publicadas) descrevem pelo menos um tipo de processo com o envolvimento de enzimas. Ao rever a figura 2 é possível diagnosticar que tecnologias de biorrefinarias com a utilização de enzimas é um fenômeno contemporâneo, em ascensão e com grande tendência de continuidade de crescimento.

As enzimas possuem um papel no desenvolvimento tecnológico para a produção de alimentos a menores preços e na redução da quantidade de resíduos agrícolas do planeta. Diferentes técnicas de valorização já em aplicação parecem promissoras para suprir demandas industriais. Por meio da valorização de resíduos agrícolas dotados de celulose como palha de trigo e de arroz estas enzimas podem ser produzidas, além de outros compostos valiosos como biocombustíveis, biocarvão, compostos bioativos, bio-óleo e biofertilizantes (ARPIT SINGH et al., 2022).

As duas subclasses correspondentes à classe Y (Y02E e Y02P) caracterizam 15,12% e 8,53% do total das patentes em análise ao estarem presentes em 1.127 e 636 publicações. A subclasse Y02E caracteriza patentes de tecnologias relacionadas à redução da emissão de gases de efeito estufa nos âmbitos da geração, transmissão ou distribuição de energia, enquanto a subclasse Y02P relaciona-se a tecnologias de mitigação de mudanças climáticas em setores de produção e processamento de bens (ver tabela 3).

As subclasses não estão relacionadas a processos específicos, mas representam um complemento ao seu processo principal. Este registro pode ser interpretado como um modo de sinalização à sociedade que o empreendimento está comprometido com a sustentabilidade e a participação na inovação tecnológica. Em um produto com diferenciação, entende-se a transmissão de informação ao consumidor como um instrumento importante para atração e confiabilidade da demanda. Isto se dá como fundamental visto que as oportunidades comerciais das biorrefinarias podem surgir justamente da demanda dos consumidores e da regulação legislativa em prol de novas soluções e alternativas sustentáveis aos produtos convencionais (D'AMATO; VEIJONAHU; TOPPINEN, 2020).

Tabela 3 – Descrição das classes e subclasses de acordo com a *Cooperative Patent Classification*

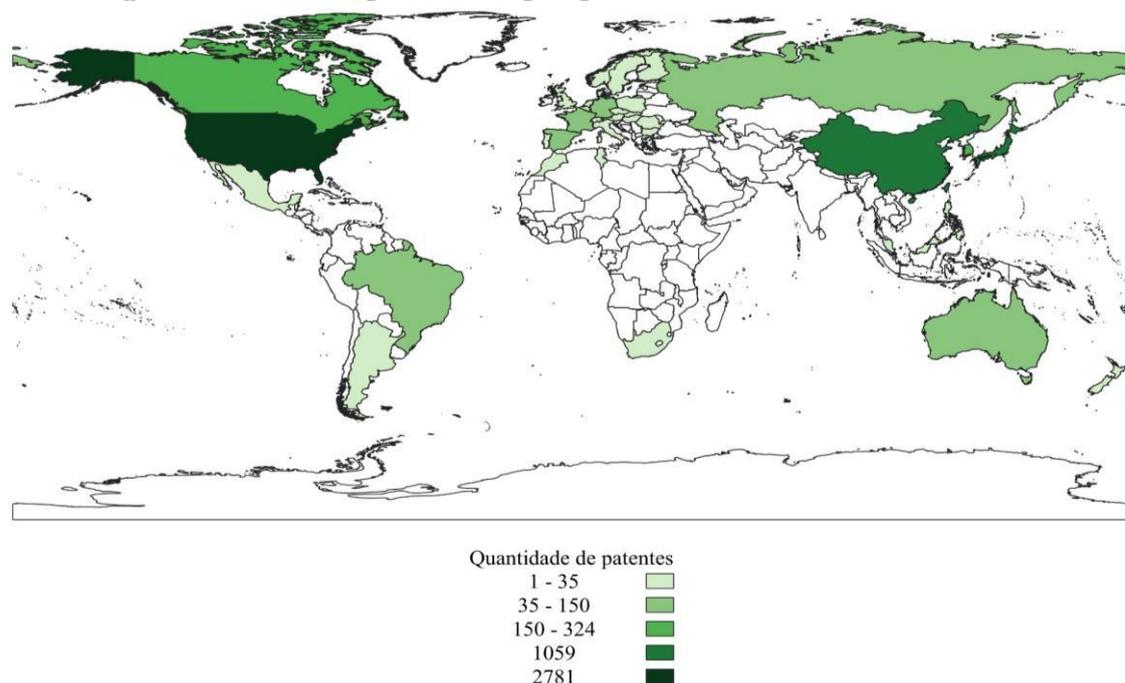
Cooperative patent classification		Título e descrição	
B		performing operations; transporting	
	B01	physical or chemical processes or apparatus in general	
		B01D	separation
		B01J	chemical or physical processes, e.g. catalysis or colloid chemistry; their relevant apparatus
C		chemistry; metallurgy	
	C07	organic chemistry	
		C07C	acyclic or carbocyclic compounds;
		C07D	heterocyclic compounds
		C07G	compounds of unknown constitution
	C08		organic macromolecular compounds; their preparation or chemical working-up; compositions based thereon
		C08B	polysaccharides; derivatives thereof
		C08H	derivatives of natural macromolecular compounds
C08L		compositions of macromolecular compounds	

	C10		petroleum, gas or coke industries; technical gases containing carbon monoxide; fuels; lubricants; peat
		C10G	cracking hydrocarbon oils; production of liquid hydrocarbon mixtures, e.g. by destructive hydrogenation, oligomerisation, polymerisation; recovery of hydrocarbon oils from oil-shale, oil-sand, or gases; refining mixtures mainly consisting of hydrocarbons; reforming of naphtha; mineral waxes.
		C10L	fuels not otherwise provided for ; natural gas; synthetic natural gas obtained by processes not covered by subclasses c10g, c10k; liquefied petroleum gas; adding materials to fuels or fires to reduce smoke or undesirable deposits or to facilitate soot removal; firelighters
	C11		animal or vegetable oils, fats, fatty substances or waxes; fatty acids therefrom; detergents; candles
		C11B	producing, e.g. by pressing raw materials or by extraction from waste materials, refining or preserving fats, fatty substances, e.g. lanolin, fatty oils or waxes; essential oils; perfumes (drying-oils c09f)
	C12		biochemistry; beer; spirits; wine; vinegar; microbiology; enzymology; mutation or genetic engineering
		C12M	apparatus for enzymology or microbiology; apparatus for culturing microorganisms for producing biomass, for growing cells or for obtaining fermentation or metabolic products, i.e. bioreactors or fermenters
		C12N	microorganisms or enzymes; compositions thereof; propagating, preserving, or maintaining microorganisms; mutation or genetic engineering; culture media (microbiological testing media c12q1/00)
		C12P	fermentation or enzyme-using processes to synthesise a desired chemical compound or composition or to separate optical isomers from a racemic mixture;
		C12Y	enzymes
	C13		sugar industry
		C13K	saccharides obtained from natural sources or by hydrolysis of naturally occurring disaccharides, oligosaccharides or polysaccharides
	D		textiles; paper
D21			paper-making; production of cellulose
		D21C	production of cellulose by removing non-cellulose substances from cellulose-containing materials; regeneration of pulping liquors; apparatus therefor
Y		general tagging of new technological developments; general tagging of cross-sectional technologies spanning over several sections of the ipc; technical subjects covered by former uspc cross-reference art collections [xrac] and digests	
	Y02		technologies or applications for mitigation or adaptation against climate change
		Y02E	reduction of greenhouse gas [ghg] emissions, related to energy generation, transmission or distribution
		Y02P	climate change mitigation technologies in the production or processing of goods

Fonte: USPTO, 2021

A partir dos dois primeiros caracteres do título das amostras foi possível identificar o país de cada uma das patentes (**WIPO, 2021**). Desta maneira, identificou-se a quantidade de patentes publicadas por cada país do mundo. Por não serem atribuíveis a países existentes, foram excluídas patentes com os códigos: WO (756 patentes referentes à **WIPO**), EP (679 patentes referentes ao *European Patent Office*), SU (31 patentes registradas na extinta União Soviética), CS (17 patentes registradas na extinta Checoslováquia), EA (13 patentes referentes ao *Eurasian Patent Office*) e OAPI (2 patentes referentes ao *Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle*).

Figura 4 – Patentes publicadas por países do mundo (acumulado até 2022)



Fonte: Elaborado com dados da pesquisa, 2022

A figura 4 demonstra uma polarização da concentração de patentes de biorrefinarias nos Estados Unidos e na China, com o registro de 2.781 e 1.059 patentes, respectivamente. Também é possível perceber a presença de patentes em diversos países da Europa.

O *Department of Energy* dos Estados Unidos iniciou o ciclo de investimentos, crescimento de mercado e abastecimento de matérias-primas. O país tem grande potencial para a produção de bioenergia, pois dada a quantidade de recursos dotados de biomassa é possível triplicar a quantidade produzida de bioenergia em relação à 2016 (LANGHOLTZ; STOKES; EATON, 2016).

Na China existe uma grande variedade de biomassa, possibilitando oportunidades de aproveitamento. Se o nível de recursos de biomassa fosse racionalizado e convertido em bioprodutos, poderiam ser realizados grandes avanços em prol da utilização econômica de recursos renováveis. O desenvolvimento de energia e produtos químicos provenientes de biomassa é uma tendência neste país (TAN; SHANG; ZHANG, 2010).

Na Europa, matérias primas de lignocelulose constituem um importante papel para as biorrefinarias, tanto como insumos principais como complementares. Contudo a fonte da lignocelulose se dá principalmente por madeiras e gramas, enquanto a utilização de resíduos é majoritariamente complementar (STEGMANN; LONDO; JUNGINGER, 2020).

3.2. Resíduos do agronegócio com potencial de aproveitamento

A estrutura da lignocelulose é composta essencialmente por celulose, hemicelulose e lignina (Liu et al., 2008). A lignocelulose é composta por 40% a 60% de celulose, 15% a 30% de hemicelulose e 15% a 25% de lignina, que variam de acordo com o tipo de biomassa além de quantidades menos significativas de extrativos e cinzas (WANG et al., 2017). A celulose é atrativa para a produção de biocombustíveis por seu relativo baixo custo, grande abundância e oferta sustentável (LYND et al., 2002). A lignina é o segundo polímero orgânico mais abundante no mundo atrás apenas da celulose (SANTOS et al., 2014), porém possui pouco valor para a produção de bioenergia, além de constituir uma barreira física e bioquímica que impede a

maioria dos processos de conversão de biomassa em bioenergia (SAWATDEENARUNAT et al., 2015). Além de biocombustíveis, a lignocelulose pode ser usada como matéria prima para a produção de outros produtos de valor adicionado como enzimas (RAVINDRAN; JAISWAL, 2016b).

O pré-tratamento é necessário para mudanças de estrutura e composição da lignocelulose. Estes processos podem remover certa parcela da lignina e da hemicelulose e aprimorar a porosidade e a concentração de celulose amorfa (RAVINDRAN; JAISWAL, 2016b). Demonstrou-se que a digestibilidade da biomassa é aprimorada a partir da remoção de lignina (CHANG; HOLTZAPPLE, 2000). Os métodos de pré-tratamento podem ser físicos, químicos, biológicos ou enzimáticos (ARPIT SINGH et al., 2022).

O termo “resíduo” refere-se a materiais gerados involuntariamente durante o processo produtivo, mas que não são considerados descartáveis, perdas ou desprovidos de valor, e o tratamento inadequado destes resíduos pode causar impactos ambientais e econômicos consideráveis. Uma alternativa para solucionar este problema é utilizar estes resíduos para gerar produtos de valor econômico. A redução de recursos naturais e a elevação da produção de resíduos foram fatores responsáveis pela criação de interesse pelo melhor aproveitamento dos resíduos como alternativa de matéria prima (ARPIT SINGH et al., 2022).

A fonte de resíduos da indústria alimentícia pode ser classificada em quatro categorias: resíduos da agricultura, de processamento de alimentos, de distribuição e de consumo. De acordo com suas características bioquímicas, resíduos da cadeia produtiva alimentícia podem ser derivados de vegetais ou animais (RAVINDRAN; JAISWAL, 2016a).

A lignocelulose é percebida como principal foco para o desenvolvimento da bioeconomia e para utilização das tecnologias de biorrefino. Na tabela a seguir serão apresentados os principais produtos e seus respectivos resíduos com potencial de aproveitamento para a extração de lignocelulose ou aqueles que são fontes de enzimas importantes no seu pré-tratamento e na produção de outros bens.

Tabela 5 – Produtos agrícolas e respectivos resíduos com potencial de aproveitamento

Produto	Resíduo
Arroz	Palha, casca
Trigo	Palha
Milho	Palha, folhas, espiga,talo
Cevada	Palha
Centeio	Palha
Café	Casca
Amendoim	-
Soja	Semente
Algodão	-
Coco	-
Cana de açúcar	Bagaço, casca
Farinha	-
Maçã	Bagaço
Uva	Bagaço
Tomate	-
Amêndoa	Casca
Óleo de oliva	-
Vinho	-

Fonte: (SAWATDEENARUNAT et al., 2015), (WANG et al., 2017) e (ARPIT SINGH et al.,2022).

4. PERSPECTIVAS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

O setor de biorrefinarias possui as seguintes características econômicas: necessidade de altos investimentos, elevados custos totais, operacionais, de capital e logísticos, custos voláteis de sua matéria-prima (biomassa) e baixo retorno de investimento (HILZ, 2021). Portanto, impõe-se a necessidade deste setor crescer suas receitas visando a competitividade, atraindo investimentos. Contudo, o desempenho de mercado para esta tecnologia é influenciada por fatores como os preços de fontes de energia, o custo dos insumos de biomassa e as mudanças no mercado de oferta mediante condições competitivas dinâmicas (ROY; KLEINE-MÖLLHOFF; DALIBARD, 2022). Outros fatores dificultadores do uso de resíduos agrícolas são a sazonalidade, as variações na composição da biomassa e o risco de sua deterioração (AMORIM; SILVÉRIO; RODRIGUES, 2019).

Dadas as dificuldades postas, existe a necessidade de políticas que beneficiem o setor como: o subsídio de estruturas de tecnologias de processamento de biomassa visando assegurar a viabilidade econômica, o aprimoramento de centros de pesquisa para o atendimento de interesses comerciais, e a instauração de sistemas de taxação estimulantes de práticas sustentáveis e garantidoras da competitividade de bioprodutos no mercado, como a taxação da emissão de gás carbônico (HILZ, 2021). Também coloca-se a necessidade de suporte político e comercial para oportunidades de curtíssimo e curto prazo para o crescimento deste setor. As políticas devem ser implementadas de modo a elaborar estratégias regionais específicas, levando em conta as forças e fraquezas das localidades (STEGMANN; LONDO; JUNGINGER, 2020).

Da mesma maneira que se observa o fenômeno da especialização em processos industriais estabelecidos, uma possibilidade para tecnologias de processamento de lignocelulose em escala industrial é a criação de mercados de tecnologias e subprodutos de pré-tratamento, visto serem processos fundamentais para aprimorar a digestibilidade da biomassa. Esta poderia ser uma maneira de reduzir custos e diluir riscos em meio a um processo de construção de um cenário competitivo para este mercado. Ressalta-se que a otimização dos processos de biorrefino integrado ainda requer pesquisas coordenadas (AGBOR et al., 2011). Destaca-se a necessidade de pesquisa e desenvolvimento para o acréscimo de impacto, eficiência e sustentabilidade das instalações de biorrefinarias (RAGAUSKAS et al., 2006). O caminho mais provável para o sucesso deste setor necessita da colaboração entre as áreas de pesquisa acadêmica e da indústria de biorrefino (MARSHALL; ALAIMO, 2010).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho identificou os fenômenos de aumento significativo da quantidade de publicação do número absoluto de patentes referentes a tecnologias de biorrefinarias, nas quais também foi detectada a expansão na variedade destas tecnologias, no período a partir da segunda década do século XXI. Estes resultados apontam para um crescente interesse do empenho social visando a adesão às tecnologias de biorrefino, contribuindo para a instauração do modelo de bioeconomia. Também foram retomados os principais resíduos agrícolas com potencial de aproveitamento, ou já envolvidos nos processos das tecnologias de biorrefino, além das características específicas do mercado em que se inserem os produtos gerados dessa tecnologia.

As tecnologias de biorrefino possuem potencial de agregação à cadeia produtiva do agronegócio a partir da valorização de resíduos gerados involuntariamente, anteriormente percebidos como dificultadores devido ao volume de materiais não aproveitados, e que acabam, por vezes, sendo descartados de forma onerosa ao ambiente. Desta maneira, é possível agregar positivamente às cadeias produtivas e à sustentabilidade por meio da: substituição de produtos convencionais por bioprodutos sustentáveis; abertura de canal comercial entre produtores agrícolas e os detentores das biorrefinarias; facilitação do processo produtivo agrícola; e

redução de descartes inadequados ao ambiente.

Os estudos futuros acerca deste tema devem aprimorar a capacidade tecnológica para o sucesso do modelo de biorrefino. Secundariamente, deve-se haver empenho das políticas públicas de apoio para a ascensão da tecnologia de biorrefino, contemplando a área de pesquisa direta dos processos e dos mercados de produção, distribuição e consumo de bioprodutos. Especificamente, como continuação deste estudo, deve-se realizar a mensuração das quantidades e preços dos principais resíduos agrícolas para atingir-se a mensuração econômica do potencial de agregação das tecnologias de biorrefinarias à cadeia de valor do agronegócio.

REFERÊNCIAS

AGBOR, V. B. et al. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 6, p. 675–685, nov. 2011.

AMORIM, C.; SILVÉRIO, S. C.; RODRIGUES, L. R. One-step process for producing prebiotic arabino-xylooligosaccharides from brewer's spent grain employing *Trichoderma* species. **Food Chemistry**, v. 270, p. 86–94, jan. 2019.

ARPIT SINGH, T. et al. Valorization of agro-industrial residues for production of commercial biorefinery products. **Fuel**, v. 322, p. 124284, ago. 2022.

BALLESTEROS, I. et al. Ethanol Production From Steam-Explosion Pretreated Wheat Straw. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 130, n. 1–3, p. 496–508, 2006.

CHANG, V. S.; HOLTZAPPLE, M. T. Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 84, p. 33, 2000.

CONTERATTO, C. Perspectivas epistemológicas do conceito de biorrefinaria para o desenvolvimento da bioeconomia no Brasil. 2020.

D'AMATO, D.; VEIJONAHU, S.; TOPPINEN, A. Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. **Forest Policy and Economics**, v. 110, p. 101848, jan. 2020.

HILZ, Xaver. **Assessing Areas of Concern in the Commercialisation Process of Biorefineries: An Importance Performance Analysis**. 2021. Dissertação. (Mestrado em Environmental Systems Sciences), Universität Graz, Graz, Austria, 2021. Disponível em: <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/id/5805907?lang=en>. Acesso em: 26 ago 2022.

HINGSAMER, M.; JUNGMEIER, G. Biorefineries. Em: **The Role of Bioenergy in the Bioeconomy**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 179–222.

LANGHOLTZ, M. H.; STOKES, B. J.; EATON, L. M. **2016 Billion-Ton Report: Advancing Domestic Resources for a Thriving Bioeconomy**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.osti.gov/servlets/purl/1271651/>. Acesso em: 29 ago. 2022.

LANGE, J.-P. Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 1, p. 39–48, set. 2007.

LYND, L. R. et al. **Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology**.

Microbiology and Molecular Biology Reviews, v. 66, n. 4, p. 739–739, dez. 2002.

MARSHALL, A.-L.; ALAIMO, P. J. Useful Products from Complex Starting Materials: Common Chemicals from Biomass Feedstocks. **Chemistry - A European Journal**, v. 16, n. 17, p. 4970–4980, 14 abr. 2010.

RAGAUSKAS, A. J. et al. The Path Forward for Biofuels and Biomaterials. **Science**, v. 311, n. 5760, p. 484–489, 27 jan. 2006.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. K. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 58–69, jan. 2016a.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. K. A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 92–102, jan. 2016b.

ROY, B.; KLEINE-MÖLLHOFF, P.; DALIBARD, A. Superheated Steam Torrefaction of Biomass Residues with Valorisation of Platform Chemicals Part—2: Economic Assessment and Commercialisation Opportunities. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2338, 18 fev. 2022.

SALVADOR, R. et al. Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 124341, jan. 2021.

SANTOS, P. S. B. DOS et al. Characterisation of Kraft lignin separated by gradient acid precipitation. **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 149–154, abr. 2014.

SAWATDEENARUNAT, C. et al. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 178–186, fev. 2015.

STEGMANN, P.; LONDO, M.; JUNGINGER, M. The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 6, p. 100029, maio 2020.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. ACID-BASED HYDROLYSIS PROCESSES FOR ETHANOL FROM LIGNOCELLULOSIC MATERIALS: A REVIEW. **BioResources**. Sanford, ano 2, n.3, ago. 2007. p. 28.

TAN, T.; SHANG, F.; ZHANG, X. Current development of biorefinery in China. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 5, p. 543–555, set. 2010.

USPTO, 2021. **Cooperative Patent Classification - CPC**. Chicago, 2021. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/web/patents/classification/cpc/html/cpc.html>>. Acesso em 12 mai 2022.

WANG, S. et al. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 62, p. 33–86, set. 2017.

WIPO. **O PCT conta agora com 156 Estados Contratantes**. Genebra, 2022. Disponível em: <https://www.wipo.int/pct/pt/pct_contracting_states.html>. Acesso em 27 mai 2022.