



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Os principais processos de reciclagem de pneus aplicados no mundo de acordo com os bancos de dados sobre patentes

André Hekermann Buss

DAMEC – UTFPR-PG

Elano Gustavo Rein

DEFIS – UTFPR - PG

Resumo: O uso de pneus no mundo vem crescendo constantemente pelo aumento na fabricação de veículos automotores. Os veículos elétricos vem sendo uma nova tecnologia que entra com força no mercado, contudo, passa a ser mais um meio de uso dos pneus. Está grande quantidade de pneus contribui para a geração de elevado número de pneus em fim de vida. Estes pneus são prejudiciais ao meio ambiente ao serem descartados de maneira inadequada, principalmente por gerarem resíduos e não terem um processo de reciclagem adequado. A composição química dos pneus veiculares são contaminantes e mostram um impacto negativo ao planeta, podendo contaminar a terra, o ar e a água. Este artigo tem o objetivo de mostrar as técnicas atuais e mais modernas empregadas no mundo para se reciclar os pneus em fim de vida. Para a construção do artigo foi realizada uma revisão da literatura com as palavras chaves, reciclagem, pneus e patentes nos bancos de dados Scopus e ScienceDirect. Este artigo se justifica por não só mostrar apenas os aspectos nocivos dos pneus, como também pela falta de entendimento das técnicas já existentes junto ao mercado ao apresentar dados dos principais bancos de dados de patentes mundiais, como a Lens, Google Patents e Espacenet.

Palavras-chave: Reciclagem, Pneus, Patentes.

The main tire recycling processes applied in the world according to patent databases

Abstract: The use of tires in the world has been growing constantly due to the increase in the manufacture of motor vehicles. Electric vehicles have been a new technology that is entering the market with force, however, it is becoming yet another means of using tires. This large quantity of tires contributes to the generation of a high number of end-of-life tires. These tires are harmful to the environment when they are disposed of inappropriately, mainly because they generate waste and do not have an adequate recycling process. The chemical composition of vehicle tires is contaminating and has a negative impact on the planet, potentially contaminating land, air and water. This article aims to show the current and most modern techniques used in the world to recycle end-of-life tires. To construct the article, a literature review was carried out using the key words, recycling and tires, in the Scopus and ScienceDirect databases. This article is justified by not only showing the harmful aspects of tires, but also by the lack of understanding of the techniques already existing in the market by presenting data from the main global patent databases, such as Lens, Google Patents and Espacenet.

Keywords: Recycling, Tires, Patents.

1. Introdução

Existe um aumento constante e considerável no consumo como na geração de resíduos de pneus. Lagarinhos e Tenório (2013), afirmam que estes resíduos vêm saturando aterros sanitários, e que a maioria dos Pneus em fim de vida (PFV), são descartados diretamente no meio ambiente.

A principal fonte de origem dos pneus é oriunda da indústria automotiva, principalmente dos veículos de pequeno porte, popularmente conhecidos como carros de passeio (SIENKIEWICZ *et al.*, 2017).

Resolução constituinte do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de n. 258, de 26 de agosto de 1999 (BRASIL, 1999), considera pneus, todo material de borracha que é inflável, que tenha possível aplicação como meio de transporte.

A produção mundial chegou a ser de 25,6 milhões de toneladas de PFV, conforme o Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável. (WBCSD, 2023).

Sienkiewicz *et al.*, (2012) declara que os avanços da indústria automotiva trouxeram grande contribuições para a sociedade, mas há enormes aspectos negativos a serem citados como a falta de um processo para reciclagem de pneus adequado e de baixo custo operacional.

A Associação Européia de Fabricantes de Pneus e Borrachas (ETRMA,2019), comenta que os pneus removidos dos veículos, eles se tornam PFV devido ao seu elevado grau de desgaste e estas ficam fora das especificações técnicas e características para uso em rodagem de estradas.

Landi *et al.* (2018) cita que a composição química dos pneus é basicamente composta por substâncias tóxicas, podendo contaminar até mesmo rochas e águas subterrâneas.

Para minimizar os impactos ambientais na natureza, diferentes organizações governamentais vêm propondo que empresas recuperem os pneus vendidos e usados ao se fornecer os novos pneus (JATMA, 2023), no entanto, a média mundial de carcaças de resíduos de pneus é calculada em torno de 31% do volume total mundial dos produtos fabricados (WBCSD, 2023).

Assim, o problema da pesquisa apresentado é a falta de um processo para reciclagem dos pneus que seja de fácil entendimento e aplicabilidade universal, com custos operacionais reduzidos. A compreensão das técnicas já consagradas dos meios de reciclagens de pneus inservíveis, contribui para nos levar de maneira mais simples a entender o que já se vem fazendo no mundo.

A composição da estrutura química dos pneus é muito complexa, pois têm ligações cruzadas geradas após o processo de vulcanização; portanto, reciclar pneus representa quebrar essas cadeias químicas ou apresentar um novo destino aos Pneus em fim de vida. Além disso, pneus deixados em lugares que peguem sol geram toxidades. Quando queimados, os pneus produzem gases nocivos ao homem e a natureza (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012).

Os principais meios difundidos na sociedade para reciclar pneus são recapagem, recauchutagem, remoldagem. O método de recapagem é caracterizado por substituir a banda de rodagem por uma nova borracha de pneu, prorrogando a vida útil da carcaça do pneu usado. Este processo passa pelas etapas como raspagem da banda de rodagem antiga, promovendo resíduos de borrachas em lascas, em seguida são confeccionados sulcos e adicionado a nova banda de rodagem o qual é vulcanizada entre 120°C e 180° C, para gerar “aderência” (BANDAG, 2023).

No processo de recauchutagem tem-se a troca da banda de rodagem mais os ombros da carcaça do pneu que são cobertos por uma camada conhecida como camelback (BANDAG, 2023).

Na remoldagem ocorre a substituição da borracha de talão a talão (BANDAG, 2023).

Como se pode observar há alguns processos de reciclagem considerados mais popularmente, mas este artigo se destina ao estudo mais aprofundado do que é reciclagem, por isso a pergunta chave do problema é: Quais são os métodos de reciclagens de pneus já aplicados comercialmente no mundo moderno e tenham cunho tecnológicos?

Com isto, este artigo nos traz como objetivo principal: Quais as diferentes técnicas aplicadas pelo mercado de trabalho, indiferente de países, com uma breve descrição do conjunto das obras de patentes, nos permitindo ter uma visão global dos processos de reciclagem de pneus inservíveis.

Segundo Kaya et al. (2021), com o aumento da população e urbanização mundial, a gestão de resíduos está entre as principais dificuldades ambientais encontrados em Smart Cities, o uso de um sistema integrado que concilie saúde, sustentabilidade e por sua vez reciclagem é essencial para caracterizar um avanço social que oriente para a melhoria da qualidade de vida, visando aumentar a eficiência dos seus recursos naturais.

Este artigo se justifica pela necessidade de se compreender o que se vem fazendo sobre reciclagem de PFV, sendo um norteador dos processos mais aplicados e gerados em patentes, pois se assim, novas tecnologias podem ser geradas.

Este artigo está disposto em capítulos como a introdução que revela o problema estudado, o objetivo proposto e a justificativa do trabalho executado. Há também o capítulo dois o qual mostra o estudo realizado em si, trazendo a pesquisa das patentes registradas e relatando os métodos com um breve descritivo de cada um, além de aportar os resultados de cada método, como resultado final da reciclagem, como por exemplo a presença do negro de fumo. No capítulo três tem-se a metodologia utilizada tanto para os bancos de dados da ScienceDirect como da Scopus, e também mostra como foi realizado o levantamento dos bancos de dados das plataformas sobre Patentes como a Lens, Google patentes e Espacenet.

2. Estudo Específico

O levantamento das patentes conforme perfil com o estudo deste trabalho, nos permite observar diferentes métodos para a reciclar dos pneus inservíveis, reconhecidos junto ao meio científico e comprovados pelos principais bancos de dados como: Lens, Espacenet e Google Patents.

A maioria das patentes são subdivididas em alguns métodos de reciclagem como: a criogenia, pirolise, com o uso de micro-ondas, processo microbiológico ou biológico e o processo misto.

A seguir um breve apanhado de documentos serão descritos sucintamente mostrando o que há de principal em cada método.

O método da criogenia consiste no congelamento rápido de uma substância e sua aplicação na reciclagem ocorre com o congelamento da borracha dos pneus, para uma recomposição de diferentes granulometrias conforme a sua aplicação. As patentes que se utilizam do processo criogênico, tem em comum a descrição de máquinas e suas partes, algumas

patentes entram no aspecto de como deve ser o misturador, enquanto outras patentes, descrevem a máquinas de criogenia com um novo mecanismo de abastecimento. Há patentes que buscam relatar a eficácia do processo ao destacar a granulometria ultrafina das partículas de borrachas quebradas pela criogenia. Algumas dessas patentes descrevem resfriadores de gás nitrogênio, com um ou dois processos de resfriamento, que quando em contato com a borracha do pneu o deixa quebradiço facilitando a formação de partículas menores e eliminação de impurezas no processo, ou até a separação dos metais por meios magnéticos.

Contudo, uma das principais características desse processo é a presença na etapa final de partículas de borrachas de pneus com diferentes granulometrias, e a presença residual do negro de fumo.

Outro método é via pirólise, que consiste na colocação de pneus em uma câmara, a qual possui o controle das variáveis: temperatura e pressão, modificando a atmosfera desse processo; com ou sem a presença de gás inerte. Nesse processo é gerado um gás que passa por um condensador e por ele se extrai diferentes tipos de óleos, conforme a passagem em estágios diferentes da extração pelo condensador, que se aloja normalmente ao lado do equipamento.

As patentes mostram inovações quanto a extração dos óleos, quanto a utilização de plasma para acelerar a produção via pirolise. Outra característica desse processo é que ele também pode gerar gases combustíveis durante a quebra das partículas de pneu, o que se mostra ser uma novidade nos dias atuais, devido a tecnologia aplicada.

É mencionado também sobre o processo de resfriamento dos gases de combustão para que sejam purificados a partir de óxidos de enxofre antes de serem liberados na atmosfera, havendo reaproveitando de todo mecanismo presente no processo, com o intuito de redução dos custos finais da operação.

Apresenta um método e um aparelho para extrair uma fibra longa, de uma matriz de resina composta; em que a fibra é extraída como uma única peça, desenrolando-se após um tratamento de pirólise para uma decomposição da sua Matrix.

Ocorre também a descrição de um reator cilíndrico que transforma partículas de borrachas de pneus de tamanho entre 10 e 15 mm em partículas menores, já tratadas e separadas dos metais com magnetismo. Outro equipamento utiliza um tanque com amônia, para moer os pneus, produzindo partículas ainda menores.

Outras patentes registram a técnica de pré-aquecimento da câmara e o sistema de fluidizadora dos diferentes óleos. O aspecto fraco da pirólise é que também há como resíduo a presença do negro de fumo dos pneus.

Já no uso de micro-ondas que é um processo caracterizado pela presença de uma ou mais câmaras que armazenam os pneus em fim de vida, sendo atingidos por micro-ondas, com a função de quebrar as cadeias das ligações químicas que compõe os pneus, promovendo partículas oriundas das borrachas destes pneus.

Nesse processo o produto é carbonizado pelo ataque de íons ativos. Depois, misturado com fibras de pós de pneus, adicionando cargas, adesivos e similares antes da extrusão e moldagem por prensagem.

Se tem várias inovações tecnológicas, registradas como equipamentos para manter a temperatura do processo por micro-ondas, como também a utilização dos vapores gerados

pelo processo para reaquecer o próprio sistema e gerar redução dos custos finais do método aplicado. Também há a existência do uso de eletromagnetismo, utilizando ímãs para auxiliar na geração das micro-ondas e equipamentos funcionando via wifi. O que se verifica em comum é um resíduo que pode ser o negro de fumo ou ainda borrachas de pneus residuais em fragmentos finos carbonáceos.

Os Micro-organismos bacterianos fazem parte de um processo que decompõe a estrutura química dos Pneus em fim de vida, geralmente, promovendo partículas menores de borrachas.

Material celulósico, óleos sintéticos e minerais, são alguns dos itens usados para combinar com micro-organismos biológicos para recuperar borrachas ou para degradá-la mais rapidamente acelerando o processo de reciclagem. As patentes indicam caminhos diferentes, mas com o objetivo em comum, que é prolongar a vida útil das borrachas. Um exemplo desses é a biomassa que processada que produz combustíveis. Por exemplo, os sistemas podem usar matéria-prima, como materiais celulósicos e/ou lignocelulósicos e/ou materiais amiláceos, para produzir etanol e/ou butanol por fermentação.

Câmaras com processo microbiológico e elemento bioeletroquímico também são usados para gestão de resíduos. Nanopartículas de celulose e borracha modificada para formação de pneus com borrachas modificadas. Uso de borracha natural em vez de borracha sintética, carga inorgânica e biológica em vez de negro de carbono e semelhantes, usando fibras naturais no lugar de óleo vegetal, fibras sintéticas no lugar do óleo de petróleo, pneus configurando matérias-primas que consistem em 75% em peso. Há patentes usam desse processo microbiológico para controlar o desgaste da borracha dos pneus de uma forma inversa para evitar o desgaste da borracha.

Outro processo utilizado é denominado como “Processo Misto”, ocorrendo quando há a presença de mais de um dos processos anteriores relatados, atuando de forma conjunta. Isso ocorre, normalmente, quando se deseja uma degradação mais intensa na estrutura química e molecular dos Pneus em fim de vida. Exemplo desse processo é a utilização de uma câmara de pirólise por micro-ondas. Com o método de criogenia promovendo as primeiras partículas de borracha que vão seguir para a câmara.

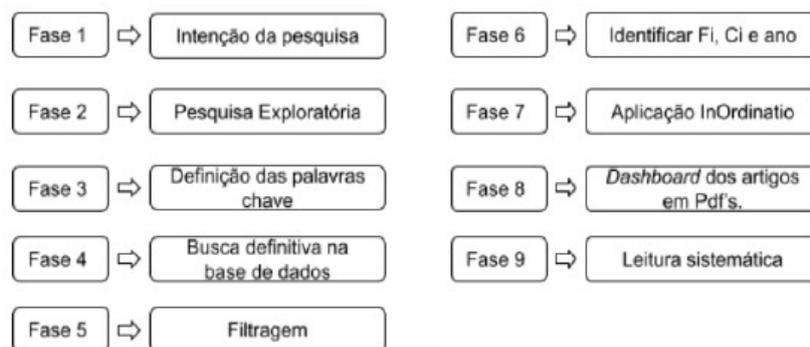
3. Metodologia

A metodologia aplicada para a construção do artigo, tendo como ponto principal o levantamento das bibliografias utilizadas, com caráter qualitativo, se utilizou da *Methodi Ordinatio* (PAGANI et al., 2015). As palavras chaves pesquisas e posteriormente cruzadas para refino da pesquisa conforme indica a metodologia aplicada, foram: Inteligência artificial, Reciclagem e Pneus. Com isto, se buscou bibliografias com títulos e conteúdo que agregassem ao tema deste trabalho, havendo foco no refino da pesquisa.

A metodologia consiste em nove fases, permitindo a análise de artigos científicos através de três variáveis: fator de impacto, número de citações e ano de publicação, e para esta pesquisa foi interpretado de forma coesa a temática semelhante ao que busca ser coerente ao tema como Inteligência artificial e a reciclagem de pneus. Portanto, a combinação das variáveis pode ser analisada pela classificação *InOrdinatio*, para o índice de relevância de cada artigo.

As etapas seguem a metodologia proposta pela *Methodi Ordination*.

Figura 1: Fases da metodologia.



Fonte: Adaptado de Pagani et al., 2015.

Conforme Pagani et al. (2015), indica o procedimento metodológico para pesquisa como descrito abaixo:

Fase 1: Intenção da pesquisa, através dela foi definido o tema e possíveis palavras-chave;

Fase 2: Com a intenção da pesquisa definida, realizou-se uma pesquisa ampliada nos bancos de dados: Science Direct e Scopus, para gerar a linha de pesquisa do artigo, ordenados por artigos mais relevantes;

Fase 3: Após a definição das palavras-chave e combinações, aplicou-se as mesmas nos bancos de dados definidos, seguindo as seguintes configurações:

- Science Direct: pesquisa avançada por título e palavras chaves, filtrando artigos.
- Scopus: pesquisa por título e combinações de palavras-chave.

Fase 4: Na busca definitiva na base de dados foi utilizado softwares para gerenciar o material encontrado. Os softwares utilizados foram o Mendeley®, Jabref® e Excel®;

Fase 5: No processo de filtragem os trabalhos em duplicata e com tema diferente da pesquisa proposta, foram excluídos.

Fase 6: Foram coletados o número de citações (Ci) e ano de publicação no próprio banco de dados onde o artigo foi encontrado. O fator de impacto (Fi) aplicado foi zero.

Etapa 7: Aplicação da Equação 1, denominada InOrdinatio (PAGANI et al., 2015).

$$InOrdinatio = (Fi / 1000) + \alpha * [(10 - (AnoPesquisa - AnoPublicação))] + (Ci)$$

Onde α é o peso atribuído pelo autor de 1 a 10, quanto mais próximo de 10, maior a importância da atualidade do tema (PAGANI et al., 2015).

Fase 8: Para a construção do Dashboard os artigos foram baixados em PDF para leitura.

Fase 9: Leitura sistemática e análise dos artigos.

A pesquisa foi realizada nos bancos de dados Science Direct e Scopus sem limitador de tempo, utilizando as palavras-chave relevantes para a construção do portfólio. A tabela 1 apresenta os resultados pesquisados.

Tabela 1 – Banco de dados aplicando a InOrdinatio

Keywords	Banco de dados		Total
	<i>Science Direct</i>	<i>Scopus</i>	
“Tire”	23	15	38
“Recycling”	18	12	30
“Patents”	11	14	25
“Tire” AND “Recycling”	4	7	11
“Tire” AND “Patents”	8	1	9
“Recycling” AND “Patents”	4	4	8
Total			121

Fonte: Próprio Autor.

A pesquisa efetuada nos bancos de dados com as palavras-chaves como evidenciado na tabela 1, indicam um total de 121 artigos após o processo de filtragem e aplicação da Fórmula InOrdinatio. Deste modo, os artigos ordenados que compõem o portfólio para o levantamento bibliográfico estão listados nas referências.

O levantamento das patentes conforme os bancos de dados da Lens (2023), Google Patents (2023) e Espacenet (2023), seguiu da seguinte maneira:

Pesquisa global com os termos de reciclagem e pneus, usados com o limitador de data base a partir do ano de 2013. A coletados dados foram efetivadas após leitura da patentes e extração dos meios e processos utilizados pelos inventores, indiferente dos países das patentes serem lançadas.

As patentes foram separadas conforme os processos de reciclagem usados para pneus inservíveis como pirólise, micro-ondas, microbiológico e criogenia. Após a pesquisa as patentes encontradas foram lidas e retiradas as em duplicidade.

A patente garante o direito de propriedade ao inventor, com o tempo mínimo de 15 anos ou, no máximo, de 20 anos, dependendo se sua classificação é “Propriedade Industrial” ou “Modelo de Utilidade” (INPI, 2023). A patente só é reconhecida se for inédita, o que nos leva a um norteador de qualidade das informações realizadas por serem atuais.

5. Conclusões

A pesquisa se torna relevante ao indicar não apenas os trabalhos de reciclagem e sua importância ao tratar de pneus em fim de uso, ou como alguns preferem mencionar pneus descartados. Os processos atuais de reciclagem de pneus são muito amplos. A maioria das técnicas demonstram complexidade devido aspectos químicos da cadeia carbônica formadora da estrutura dos pneus, bem como os elementos químicos que os constituem.

O uso de pneus no mar, também não são aconselháveis, já que há deterioração e contaminação da vida marinha. A queima dos pneus em fim de vida é inviável, pois lançam vapores tóxicos ao meio ambiente, aterramento também não é aconselhável, já que a sua decomposição é muito lenta e há lixiviação de substâncias química ao solo. Estes aspectos justificam a relevância deste artigo ao contribuir para esclarecer que se vem fazendo atualmente para reciclar os pneus em fim de vida.

Outra comprovação da relevância deste artigo é a importância de se utilizar de novas tecnologias para encontrar melhores meios de reutilização ou para se reciclar os pneus usados. Neste contexto entra o conhecimento humano para gerar novas tecnologias com base nas já existentes e integradoras dos processos de patentes mundiais. Conclui-se que o artigo traz uma maior contribuição para pesquisas futuras, pois já demonstro o que se faz de incremento de equipamentos e métodos, e abre portas para novos horizontes da pesquisa. Por outro lado, conclui-se que as patentes registradas mundialmente não trazem muitos diferenciais de incrementos sobre novos processos e sim mais voltadas as patentes para diferentes adições de um ou outro aspecto de equipamentos já existentes. A maioria das patentes são geradas pela China, e posteriormente pelos EUA.

As limitações encontradas para este trabalho de pesquisa são justamente pela falta de dados nos próprios bancos de dados e uma metodologia para pesquisa sobre patentes.

E as sugestões para trabalhos futuros se dá aos futuros pesquisadores, para que olhem não apenas os bancos de dados de artigos publicados, mas também se tenham cuidados sobre as patentes registradas, pois a conjugação destes fatores gera uma melhor resolutiva das pesquisas.

Referências

BANDAG-Bridgestone. **Americas Tire Operations**. 2018. Disponível em: <https://www.bandag.com.br> Acesso em: 22 Sept. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 258, de 26 de agosto de 1999**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258>. Acesso em: 15 agosto 2023.

ESPACENET Patent Search. 2018. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com> Acesso em: 10 jul. 2023.

ETRMA (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION). **Annual Report 2017: Moving Innovation that Cares**. 2017. Disponível em: <http://www.etrma.org/> Acesso em: 24 Sept. 2023.

GOOGLE PATENTS. **Google's Open Worldwide Patent Database**. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/patents> Acesso em: 10 mai 2023.

INPI (INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL). Disponível em: <https://www.inpi.com.br>. Acesso em: 17 agosto de 2023.

KAYA, Kiyomet; AK, Elif; YASLAN, Yusuf; OKTUG, Sema Fatma. **Waste-to-Energy Framework: An intelligent energy recycling management**. Sustainable Computing: Informatics and Systems, v. 30, 2021.

LENS (Banco Mundial de Patentes Abertas da Cambia e da Universidade de Tecnologia de Queensland). Disponível em: <https://www.lens.org/lens>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PAGANI, R.N.; KOVALESKI, J.L.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, n. 105, p. 2109-2135, 2015.

SIENKIEWICZ, M.; JANIK, H.; BORZEDOWSKA-LABUDA, K.; KUCINSKA-LIPKA, J. Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: a review. **J. Clean. Prod.**, n. 147, p. 560-571, 2017.

SIENKIEWICZ, M.; KUCINSKA-LIPKA, J.; JANIK, H.; BALAS, A. Process in used tyres management in the European Union: a review. **Waste Management**, v. 32, n. 10, p. 1742-1751, 2012.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). **Global ELT Management: a Global State of Knowledge on Collection Rates, Recovery Routes and Management Methods**. 2018. Disponível em: <https://www.wbcd.org/> Acesso em: 10 Sept. 2023.