



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARIA DO LIVRAMENTO MAMEDE BEZERRA

MODELO ARIMA PARA PREVISÃO DE GERAÇÃO DE CHUMBO SECUNDÁRIO
A PARTIR DE BATERIAS DE MOTOCICLETAS NO BRASIL

CARUARU

2021

MARIA DO LIVRAMENTO MAMEDE BEZERRA

**MODELO ARIMA PARA PREVISÃO DE GERAÇÃO DE CHUMBO SECUNDÁRIO
A PARTIR DE BATERIAS DE MOTOCICLETAS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Máisa Mendonça Silva.

CARUARU

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

B574m Bezerra, Maria do Livramento Mamede.
Modelo ARIMA para previsão de geração de chumbo secundário a partir de baterias de motocicletas no Brasil. / Maria do Livramento Mamede Bezerra. – 2021.
87 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Maísa Mendonça Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.
Inclui Referências.

1. Metodologia. 2. Previsão. 3. Chumbo. 4. Metais - Reaproveitamento – Brasil. 5. Resíduos de metal – Brasil. I. Silva, Maísa Mendonça (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2021-164)

MARIA DO LIVRAMENTO MAMEDE BEZERRA

**MODELO ARIMA PARA PREVISÃO DE GERAÇÃO DE CHUMBO SECUNDÁRIO
A PARTIR DE BATERIAS DE MOTOCICLETAS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 20/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maísa Mendonça Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Thyago Celso Cavalcante Nepomuceno (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Simone Machado Santos (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS por ter me proporcionado tudo que conquisei até agora e sempre iluminando meus caminhos com esperança, fé e persistência na realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Maria de Fátima e Estácio Sobrinho por sempre me apoiarem, independentemente das dificuldades financeiras e acima de tudo o amor que tem por mim. Amo vocês incondicionalmente e a meu noivo Josean Junior pelo apoio e o amor desde o começo da minha jornada. Te amo.

Agradecer a minha orientadora, professora Maísa Mendonça por me receber de braços abertos nesta caminhada e me conduzir a novos desafios e conquistas que contribuíram significativamente para o meu crescimento pessoal e profissional. Obrigado por confiar no meu trabalho, por sua amizade e pela paciência nos momentos de conturbados.

Aos meus amigos, Targieli e Anderson Nunes pelos momentos marcados de alegrias e entusiasmos e ora por períodos de tristezas e angústias, vocês sempre tiveram a maestria de sempre me acolherem. Também agradeço as minhas amigas Camyla Ferreira, Joyce, Geisiane, Bianca, Livia, Layza dividirem comigo os momentos de luta e alegrias nessa caminhada árdua com objetivo de alcançar o diploma desejado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por propiciarem e contribuírem na construção deste Mestrado. Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma nessa minha formação.

RESUMO

Na atualidade o consumo desenfreado dos recursos naturais aumenta a emissão de resíduos poluentes no planeta e evidencia a escassez de recursos. Em se tratando especificamente de chumbo, o Brasil, por sua vez, não produz chumbo primário, tendo a necessidade de importar 47% desse material para a utilização na produção industrial. Dessa forma, se torna imprescindível a reciclagem de chumbo, sobretudo no que tange à fabricação de baterias automotivas, uma vez que é um mercado economicamente atrativo para as indústrias do ramo. Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo realizar a previsão do potencial de recuperação de chumbo secundário de baterias de motocicletas no Brasil, uma vez que, é considerado a segunda maior categoria de automóveis no país, de modo a proporcionar estratégias para a tomada de decisão e a mitigação do impacto global desse resíduo no meio ambiente. Para tal, aplicou-se um modelo de previsão alicerçado na metodologia ARIMA, com dados de entradas retirados de plataformas setoriais brasileiras, onde realizou-se análises de decomposição do comportamento dos dados ao longo do tempo, dos resíduos e, por fim testes de autocorrelação geral e parcial, Kolmogorov-smirnov e Dickey-Fuller, obtendo-se o modelo SARIMA (3,1,0) (2,0,0)¹² que apresentou uma melhor adequação ao comportamento da série. Os resultados, demonstraram que: a) pelo menos 1% das baterias coletadas tem destino desconhecido ou inadequado; b) o processo de reciclagem tem uma ineficácia de 4,5% de perda de chumbo; c) as previsões da quantidade de chumbo secundário obtidas pelo modelo de previsão foram de 89.972.842,08 milhões de toneladas entre 2021 a 2030. Além disso, realizou-se uma análise acerca da importância do chumbo secundário para a economia e os perigos da reciclagem ilegal. Portanto, o estudo poderá auxiliar em diversas alternativas para o gerenciamento adequado da coleta, descarte e reciclagem de chumbo, fornecendo ao governo brasileiro direção para desenvolvimento de novas políticas relacionadas a reciclagem de chumbo.

Palavras-chave: Modelo de previsão; Reciclagem de chumbo; Metodologia ARIMA; Gerenciamento de resíduos.

ABSTRACT

Currently, the unrestrained consumption of natural resources increases the emission of polluting waste on the planet and highlights the scarcity of resources. When it comes specifically to lead, Brazil, in turn, does not produce primary lead, having the need to import 47% of this material for use in industrial production. Thus, lead recycling becomes essential, especially with regard to the manufacture of automotive batteries, since it is an economically attractive market for industries in the field. Therefore, this study aims to predict the potential for recovery of secondary lead from motorcycle batteries in Brazil, since it is considered the second largest category of automobiles in the country, in order to provide strategies for taking decision and mitigation of the global impact of this waste on the environment. To this end, a forecasting model based on the ARIMA methodology was applied, with input data taken from Brazilian sectorial platforms, where analysis of the decomposition of the behavior of the data over time, of the residuals and, finally, autocorrelation tests were carried out. general and partial, Kolmogorov-smirnov and Dickey-Fuller, obtaining the SARIMA model (3.1.0) (2.0.0)¹² which presented a better adequacy to the behavior of the series. The results showed that: a) at least 1% of the collected batteries have an unknown or inappropriate destination; b) the recycling process has an ineffectiveness of 4.5% of lead loss; c) the predictions of the amount of secondary lead obtained by the forecast model were 89,972,842.08 million tons between 2021 and 2030. In addition, an analysis was carried out on the importance of secondary lead to the economy and the dangers of illegal recycling. Therefore, the study may help in several alternatives for the proper management of lead collection, disposal and recycling, providing the Brazilian government with direction for the development of new policies related to lead recycling.

Keywords: Prediction model; Lead recycling; ARIMA Methodology; Waste management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Componentes de uma bateria	22
Quadro 1-	Regulamentações relacionadas à reciclagem de resíduos.....	25
Fluxograma 1-	Fluxograma da revisão sistemática	36
Quadro 3-	Palavras-chave	37
Fluxograma 2-	Etapas do processo de filtragem	38
Gráfico 1-	Produção científica anual da análise bibliográfica.....	40
Gráfico 2-	Fontes mais relevantes da análise bibliográfica	41
Gráfico 3-	Autores mais relevantes.....	42
Gráfico 4-	Produção dos autores ao longo do tempo	43
Gráfico 5-	Instituições de ensino mais relevantes	44
Gráfico 6-	Documentos mais citados globalmente	45
Mapa 1-	Produção científica de cada país	46
Fluxograma 3-	Procedimento metodológico	49
Gráfico 7-	Série temporal original (com outliers)	51
Gráfico 8-	Série temporal original (sem outliers)	52
Gráfico 9-	Decomposição da série temporal original	53
Figura 2-	Autocorrelação geral	54
Figura 3-	Autocorrelação parcial	54
Figura 4-	Teste de Dickey-Fuller	55
Gráfico 10-	Decomposição da série temporal após a aplicação do Box Cox	56
Figura 5-	Autocorrelação geral (após as diferenciações)	57

Figura 6-	Autocorrelação parcial (após as diferenciações)	57
Figura 7-	Parâmetros do modelo	58
Gráfico 11-	Comparação dos dados da série temporal com os resíduos ajustado do ARIMA	59
Figura 8-	Análise dos resíduos	60
Figura 9-	Parâmetros do teste de Kolmogorov-smirnov	61
Figura 10-	Teste de acurácia do modelo	61
Gráfico 12-	Comportamento da previsão da frota anual de motocicletas que utilizam baterias do tipo B	64
Gráfico 13-	Comportamento da previsão da frota anual de motocicletas que utilizam baterias do tipo A	64
Quadro 3-	Previsão de sucatas de baterias tipo A	66
Quadro 4-	Previsão de sucata de bateria de tipo B	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Quantidade anual de motocicletas	63
Tabela 2	Previsão do potencial anual de recuperação de chumbo de baterias tipo A	68
Tabela 3	Previsão do potencial anual de recuperação de chumbo de baterias tipo B.....	68
Tabela 4	Estimativas anuais de perda de chumbo de baterias tipo A.....	69
Tabela 5	Estimativas anuais de perda de chumbo de baterias tipo B.....	69

LISTA DE SIGLAS

ABRABAT	Associação Brasileira de Baterias Automotivas e Industriais
LAB	Bateria de Chumbo-Ácido
SINCOPEÇAS-BR	Associação Nacional dos Sincopeças do Brasil
IBER	Instituto Brasileiro de Energia Reciclável
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ARIMA	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>
SER	Responsabilidade Social Empresarial
ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares
REE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
MEP	Ministério de Proteção Ambiental
SCC	Conselho Estadual da China
MIIT	Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação
MOC	Ministério do Comércio
NDRC	Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma
MOF	Ministério das Finanças
MRL	Ministério de Terras e Recursos
MOHURD	Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural
ACFSMC	Federação de Cooperativas de Suprimento e Marketing de toda a China
OCD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

USEPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MMA	Ministério de Meio Ambiente
OEM	Lei de Gestão de Baterias Recarregáveis e Contendo Mercúrio
SSCM	Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos
ACF	Autocorrelação Amostral
PACF	Autocorrelação Amostral Parcial
AR	Autorregressiva Pura
MA	Média Móvel Pura
MFA	Modelo de Fluxo de Material para o Futuro
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
ME	Erro Médio
RMSE	Erro Médio Quadrático
MAE	Erro Médio Absoluto
MPE	Erro Médio Percentual
MAPE	Erro Médio Percentual Absoluto
MASE	Erro Médio Absoluto Escalonado
ACF1	Autocorrelação Parcial de Primeira Ordem
MME	Ministério de Minas e Energia
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
FV	Função De Verossimilhança
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística
CHR	<i>Global Lead And Zinc Market Analysis And Insight</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS, JUSTIFICATIVA, RELEVÂNCIA E ESTRUTURA	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	16
2.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELECTRÓNICOS (REEE)	19
3.2	BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO	20
3.3	CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO	22
3.3.1	Composição	22
3.3.2	Aplicabilidade	23
3.4	CENÁRIO LEGISLATIVO	23
3.4.1	China	23
3.4.2	União Europeia	26
3.4.3	Estados Unidos	27
3.4.4	Brasil	28
3.5	PANORAMA DA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE BATERIAS NO BRASIL	29
3.6	LOGÍSTICA REVERSA	30
3.6.1	Logística pós-consumo	31
3.7	PREVISÃO DA GERAÇÃO DE SUCATAS DE BATERIAS COMO FERRAMENTA DE GESTÃO	32
3.7.1	Análise de séries temporais	32
3.8	MODELO ARIMA	34
3.9	REVISÃO SISTEMÁTICA	35
3.9.1	Método de revisão	35
3.9.2	Coleta bibliográfica	37

3.9.3	Processo de filtragem	37
3.9.4	Análise bibliográfica	39
3.9.5	Interpretação e discussão	46
4	METODOLOGIA	49
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DE MOTOCICLETAS NOVAS E USADAS E DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL	49
4.2	DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE UMA BATERIA DE CHUMBO- ÁCIDO	50
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO PARA PREVISÃO.....	50
4.4	LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE DE CHUMBO SECUNDÁRIO POR BATERIAS E PERDA NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1	APLICAÇÃO DO MODELO AO CENÁRIO BRASILEIRO	63
5.1.1	Previsão da geração de sucatas de baterias	65
5.1.1.1	Baterias tipo A e tipo B	65
5.1.2	Levantamento do potencial de geração da quantidade de chumbo por baterias	67
5.1.2.1	Baterias tipo A e tipo B	67
5.1.3	Estimativa de perda de chumbo	68
5.1.4	Gerenciamento de descarte, coleta e reciclagem de LABs	70
5.1.5	A importância da economia de reciclagem de chumbo secundário e os perigos da reciclagem no mercado ilegal	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

No presente cenário da pós-globalização, pode-se observar que as empresas produzem em uma velocidade cada vez maior, consumindo os recursos naturais e aumentando a emissão de resíduos poluentes no planeta. Deste modo, essas atitudes vão contra o que é pregado pela sustentabilidade, ou seja, desrespeitam os pilares sociais e ambientais. Ainda, devido à má administração da extração de matéria-prima para fabricação de bens e serviços, muitos materiais precisam ser reciclados, sendo um deles o chumbo secundário utilizado para a fabricação de baterias automotivas.

A produção de baterias de chumbo-ácido (LAB) representa 85% do uso global de chumbo, uma vez que elas são usadas em quase todos os 1,3 bilhões de veículos do mundo em uso e na construção de energia de reserva fornecida (LEE; TAN, 2019).

De acordo com Roberts (2020), a Global Lead and Zinc Market Analysis and Insight - CHR calcula que a produção secundária de chumbo representou cerca de 50% do total global da produção refinada de chumbo em 1990, mas essa participação agora aumentou para pouco mais de 75%. Isso representa um aumento de cerca de 3 Mt em 1990 para 10 Mt em 2018. Ao mesmo tempo, a produção global de mina de chumbo aumentou de 3,2 Mt (chumbo em concentrados de chumbo e granel) para apenas 3,4 Mt em 2018.

Devido a esse aumento de taxa de chumbo secundário produzido e o quanto esse metal é perigoso para a saúde humana, esse cenário é de grande importância à previsão e reciclagem de baterias de chumbo-ácido usadas, não só para diminuir o impacto negativo ao meio ambiente e ao ser humano, mas também pelo valor econômico no mercado. No Brasil, por exemplo, a importação desse do chumbo primário corresponde a 47% do consumo do país, ficando 53% por conta da reciclagem. No entanto, o país enfrenta graves problemas no que diz respeito ao chumbo em relação ao conhecimento e tecnologia para coleta / reciclagem seletiva; descarte em locais inapropriados; e a falta de ferramentas para implementação de legislação reguladora.

Em consequência desses fatores, foi assinado em 14 de agosto de 2019, um acordo entre a Associação Brasileira de Baterias Automotivas e Industriais (Abrabat), a Associação Nacional dos Sincopes do Brasil (Sincopes-BR) e o Instituto Brasileiro de Energia Reciclável (Iber) para a implementação do sistema de logística reversa dessas baterias. Este acordo foi pautado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída por Lei em 2010,

Sabendo que no país, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2019), entre 2000 e 2018, a frota de veículos foi mais que

duplicada, registrando a marca de quase 45 milhões de veículos em 2018 o que representa uma distribuição de 4,4 habitantes por automóvel (DENATRAN, 2020).

De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares - ABRACICLO (2019), a frota de motocicletas em circulação no país é mais de 20 milhões, o que corresponde a 26,89% do total da frota geral circulante. Já em 2019 houve um crescimento de 15% nas vendas, tendo um acréscimo de novas motos circulantes no Brasil (FENABRAVE, 2019). Dessa forma, é de suma importância prever a quantidade de chumbo-secundário dos descartes de baterias automotivas, pois este conhecimento facilitaria na tomada de decisão, na reutilização, no descarte adequado e na elaboração de novas leis e sistemas, como já supracitado no texto.

Nesse sentido, alguns questionamentos devem ser levantados: a quantidade de chumbo reciclado é suficiente para a reutilização na fabricação de baterias automotivas no Brasil? O governo gerencia e analisa o potencial de recuperação de chumbo secundário no país?

2 OBJETIVOS, JUSTIFICATIVA, RELEVÂNCIA E ESTRUTURA

Nesta seção são apresentadas o objetivo geral e objetivos específicos deste trabalho.

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar o potencial de recuperação de chumbo secundário a partir da reciclagem de baterias de chumbo-ácido de motocicletas no Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão de literatura sistemática e abrangente sobre previsão de reciclagem de chumbo secundário de baterias automotivas;
- Construir e aplicar o modelo autorregressivo integrado de médias móveis (ARIMA) para previsão de vendas de motocicletas;
- Prever a quantidade de chumbo secundário de baterias de motocicletas no período de 10 anos;
- Discutir e propor alternativas para o gerenciamento do mercado de reciclagem de baterias de chumbo-ácido no Brasil.

2.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

As práticas de Responsabilidade Social Empresarial (RSE) tornaram-se um item imperativo para a manutenção e competitividade das organizações em escala global, visto que agora, “as empresas multinacionais estão sujeitas a várias regras, regulamentos e restrições éticas que foram implementadas para proteger o meio ambiente, os funcionários e a comunidade a que servem” (LEE; TAN, 2019, p. 261).

Diante dessas diretrizes impostas e sabendo que a maior parte do chumbo produzido anualmente no mundo é usada para baterias (YOHEESWARAN; GOVINDARADJANE; SUNDARARAJAN, 2013), o que significa que 85% do chumbo global é destinado à fabricação de baterias de chumbo-ácido, o setor de produção de baterias de chumbo-ácido é atualmente considerado o alvo principal para a reciclagem, não só pelo fato de ser considerado um metal internacionalmente perigoso, mas também pela falta de chumbo primário na natureza.

No mercado brasileiro, os principais consumidores de chumbo metálico são os fabricantes de baterias automotivas (82,2%), indústrias (9,3%) e fabricantes de compostos químicos (8,5%). Contudo, a produção de chumbo primário do país foi encerrada em 1998 pelo esgotamento das minas de galena, tendo que importar 100% desse material, e em virtude dessa situação, foi necessário encontrar uma nova forma de obtenção deste material. Sendo assim,

toda a produção brasileira desse metal é obtida a partir da reciclagem de material usado, principalmente de baterias automotivas.

Segundo Moura (2017), a indústria automobilística brasileira cresceu mais de 400% em relação à sua frota de motocicletas nos últimos 15 anos e ainda de acordo com a ABRACICLO (2019) a produção nacional em 2018 foi mais de 1 milhão de motocicletas, tendo um aumento de 17,4 % sobre a produção registrada em 2017. O Brasil é o quinto maior produtor mundial e o quarto maior consumidor desse produto (SEBRAE, 2018). Dessa forma, pode-se inferir que haverá uma grande quantidade de sucata de baterias em fim de sua vida útil e que o mercado de reciclagem de sucata LAB tem a vantagem de ser economicamente atraente para os produtores de baterias.

Em contrapartida, o gerenciamento de sucata do LAB requer atenção especial do governo e uma autorregulação rigorosa, pois o país conta apenas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12.305 / 2010 (Brasil 2010) que exige dos fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores de baterias a organização e implementação de sistemas de logística reversa na devolução do produto após o uso pelo consumidor. Outra questão crítica a ser considerada é que não existem dados confiáveis sobre as quantidades de sucata de LAB geradas no Brasil (CABRAL NETO; SILVA; SANTOS, 2016). Consequentemente, não existem dados sobre o chumbo gerado pelo uso do LAB e as perdas envolvido no processo de recuperação (SANTOS; CABRAL NETO; SILVA, 2019).

Além disso, existem poucos estudos na literatura relacionados a modelos de previsão do potencial de sucata de chumbo de baterias de chumbo-ácido. Por exemplo, só foram encontrados três trabalhos nessa área: dois realizados no Brasil e um na China. Dessa forma, torna-se pertinente realizar esse tipo de estimativa, uma vez que, com o conhecimento da quantidade do potencial secundário de geração de chumbo o país poderia futuramente estruturar essa nova cadeia de produção de forma estrategicamente econômica e eficientemente sustentável.

Por fim, o presente estudo poderá ser ponto de partida para geração de futuros trabalhos e novas discussões na comunidade científica, principalmente considerando a escassez de pesquisa sobre a previsão de chumbo de baterias automotivas voltadas à realidade das tomadas de decisão a partir da situação apresentada no Brasil.

2.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em 5 seções, descritas da seguinte maneira:

- Seção 1: Apresenta a parte introdutória do trabalho, expondo os objetivos gerais e específicos, justificativas e relevância do desenvolvimento da pesquisa.
- Seção 2: refere-se à fundamentação teórica, apresentando conceitos importantes de interesse do estudo, tais como: Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), especificações de chumbo-ácido e baterias de chumbo-ácido, cenário legislativo, logística reversa, series temporais e modelo ARIMA. Além do mais, para complemento da seção, aplicou-se uma revisão sistemática sobre a reciclagem de resíduos com aplicação de modelo de previsão para descobrir lacunas que identifiquem os aspectos do posicionamento desta pesquisa.
- Seção 3: esta seção aborda as etapas do modelo proposto, bem como a descrição do passo a passo da aplicação dos dados e metodologia ARIMA utilizados.
- Seção 4: esta seção é dedicada aos resultados adquiridos e uma análise sobre o mercado de reciclagem de chumbo secundário de baterias de motocicletas.
- Seção 5: esta seção apresenta as considerações finais e também disponibiliza discussões sobre as contribuições, desafios, limitações e trabalhos futuros da dissertação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELECTRÓNICOS (REEE)

As vendas de equipamentos elétricos e eletrônicos vem crescendo consideravelmente incentivada pela inovação tecnológica e pela rapidez que esses produtos se tornam obsoletos, em consequência, existe um crescimento elevado na quantidade de resíduos elétricos e eletrônicos em fim do ciclo de vida nos últimos tempos (KUMAR; HOLUSZKO; ESPINOSA, 2017, OLIVEIRA, 2016). O lixo eletrônico refere-se a produtos elétricos e eletrônicos pós-consumidos, pós-industrializados ou pós-vendidos, ou seja, os dispositivos tecnológicos se tornam lixo eletrônico em fim de vida útil (OTTONI; DIAS; XAVIER,, 2020).

Os produtos elétrico eletrônicos descartados sem o propósito de reutilização são considerados resíduos de equipamentos elétrico e eletrônicos (REEE) (STEP, 2014). Os REEE contém particularmente materiais perigosos e valiosos, tornando-se a reciclagem ambientalmente e economicamente atrativa (ONGONDO; WILLIAMS; CHERRETT, 2011, ZENG; BORN; WAMBACH, 2004, ZHANG; XU, 2016). O cádmio, mercúrio, cromo, chumbo, prata, retardadores de chama, mas não limitados, são encontrados comumente no lixo eletrônico (DIAS; BENEVIT; VEIT, 2016, WIDMER *et al.*, 2005). Essas substâncias podem contaminar o solo e a água e consequentemente prejudicar o ser humano e o meio ambiente (DIAS, 2015).

Segundo Baldé *et al.* (2015) o lixo eletrônico é dividido em seis categorias distintas:

1. Equipamentos de troca de temperatura: geladeiras, freezers, ar condicionado, bomba de calor ;
2. Telas e monitores: televisores, monitores, laptops, notebooks, tablets;
3. Lâmpadas: lâmpadas fluorescentes, lâmpadas LED, lâmpadas de descarga de alta intensidade;
4. Equipamentos de grande porte: máquinas de lavar, secadoras de roupas, fogões elétricos, grandes impressoras, copiadoras, painéis fotovoltaicos ;
5. Equipamentos pequenos: aspiradores de pó, torradeiras, micro-ondas, aparelhos de ventilação, balanças, calculadoras, rádio, barbeadores elétricos, chaleiras, câmeras, brinquedos, ferramentas eletrônicas, dispositivos médicos, pequenos equipamentos de monitoramento e controle;
6. Equipamentos pequenos de informática e telecomunicações : telefones celulares, GPS , calculadoras de bolso, roteadores, computadores pessoais, impressoras, telefones.

O setor de equipamentos elétricos e eletrônicos é um dos mais dinâmicos da economia, compreendendo 4,1% do PIB brasileiro, colocando o país, hoje, em uma posição de destaque no mercado global (ABINEE, 2015). Por causa dessa quantidade de equipamentos os fluxos de resíduos vem crescendo mais rapidamente no Brasil e no mundo, com uma taxa de crescimento anual variando de 3% a 5% (EUROPEAN PARLIAMENT BRIEFING, 2015 ; AWASTHI *et al.*, 2017). Em 2014, a quantidade de resíduos eletrônicos gerados atingiu 41,8 milhões de toneladas (cerca de 5,9 kg por habitante) com a maior parte dos resíduos sendo gerados na Ásia (38,3%), seguido pela América (28,0%) e Europa (27,7%). Ainda, a maior geração de resíduos por habitante foi observada na Europa (15,6 kg por habitante), seguida da Oceania (15,2 kg por habitante) (BALDÉ, 2015). Além disso, a receita potencial gerada pela reciclagem de lixo eletrônico no mercado europeu chega a 2,15 bilhões de euros (CUCCHIELLA *et al.*, 2015).

As baterias de chumbo-ácido são classificadas como produtos poluentes de impactos ambiental e de riscos ao ser humano principalmente quando não existe o descarte adequado, dessa maneira, existe uma atenção em relação ao tratamento e logística reversa dessas baterias (CABRAL NETO, 2016).

3.2 BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

As baterias de chumbo-ácido são o tipo mais antigo de bateria recarregável e têm sido amplamente utilizadas em muitos campos, como automóveis, veículos elétricos e armazenamento de energia devido às características de grande relação peso / potência e baixo custo (KUMAR, 2017).

Em 2015, o valor de produção mundial de baterias de chumbo-ácido foi de 43,21 bilhões de dólares americanos, o que representou 54,6% do total das baterias secundárias (KUSHWAHA; SHARMA, 2016 ; LIU *et al.*, 2018). Hoje em dia, mais baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula são necessárias devido ao rápido desenvolvimento da indústria automobilística na China, EUA, Europa e países emergentes. Espera-se que a taxa de crescimento do rendimento anual das baterias de chumbo-ácido mantenha 2,8% nos próximos 5-10 anos (KUSHWAHA; SHARMA, 2016 ; LIU *et al.*, 2020).

As baterias de chumbo-ácido representam cerca de 80% do consumo total de chumbo no mundo (WORRELL; REUTER, 2014 ; ZHANG *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2018). Embora a vida útil das baterias de chumbo-ácido possa chegar a 5 a 10 anos (RUETSCHI, 2004), muitas vezes elas precisam ser substituídas com frequência, por exemplo, baterias de bicicletas elétricas atualmente duram menos de três anos (CHEN *et al.*, 2017) Como resultado, mais de

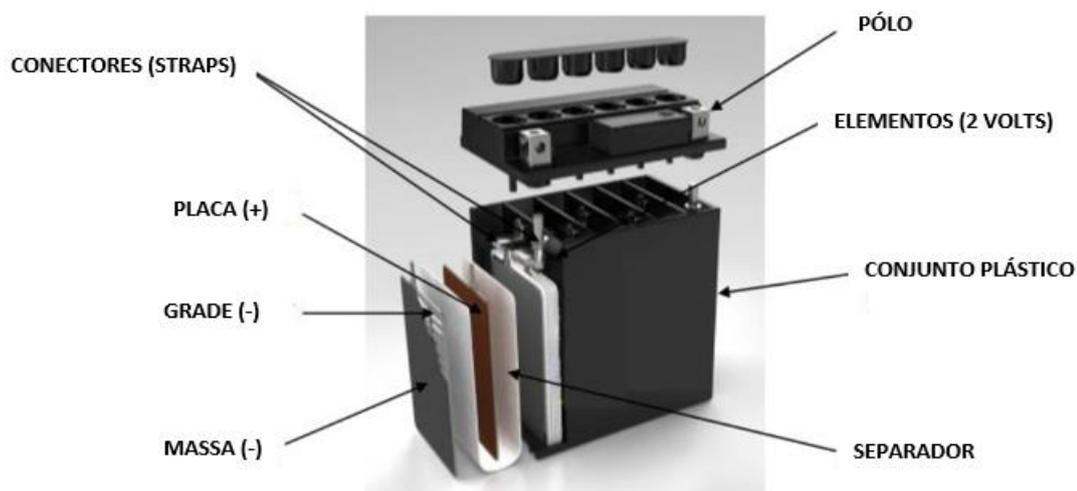
1,5 milhão de toneladas de baterias são descartadas por ano na China. Baterias de chumbo-ácido usadas são classificadas como resíduos perigosos, mas também são uma fonte vital para o processamento secundário de chumbo (MOSELEY *et al.*, 2004 ; WORRELL; REUTER, 2014).

De acordo com Shi *et al* (2020), as baterias de chumbo-ácido têm as seguintes vantagens em comparação com outros tipos de baterias: tecnologia madura, o maior mercado da indústria global, preço baixo, boa estabilidade, alta segurança e manutenção conveniente (PAVLOV, 2017). Elas são usadas como um sistema de armazenamento de energia porque são compactas, implantáveis e fornecem uma resposta imediata à entrada e saída de corrente (VARSHNEY *et al.*, 2020). Geralmente, o ânodo é feito de chumbo, o cátodo é de dióxido de chumbo e esses eletrodos são mergulhados em uma solução eletrolítica de ácido sulfúrico (MIHAILA *et al.*, 2020).

Segundo Cabral Neto (2016), os principais componentes de uma bateria de chumbo-ácido são:

- Placas positivas e negativas - composição entre grades metálicas e massa de material ativo responsável pelas reações químicas;
- Separadores - envelopes plásticos que impedem o contato direto entre as placas positivas e negativas, evitando o curto-circuito;
- Conectores: pequenas peças de chumbo que fazem as conexões entre os elementos da bateria;
- Solução de ácido sulfúrico - usualmente composta por 35% de ácido sulfúrico e 65% de água destilada, é um elemento fundamental no processo das reações químicas;
- Caixa/Tampa - composta de polipropileno (PP), tem por função acondicionar os elementos e a solução, isolando-os do contato com o exterior;
- Pólo positivo e negativo - peças de chumbo que desempenham a função de terminais positivo e negativo da bateria, respectivamente.

Figura 1 - Componentes de uma bateria.



Fonte: A Autora (2021)

Nota: Adaptado do acervo da Moura (2015)

As baterias de chumbo-ácido podem ser 100% recicladas e serem reutilizados os compostos para fabricação de novas baterias e ainda tem um alto valor de mercado, mesmo sendo nocivos ao ser humano e o meio ambiente (CSPOWER, 2009).

De acordo com ABRABAT (2020), na prática, 99% do chumbo, do ácido e do plástico podem ser reaproveitados para produção de novas baterias, garantindo assim uma alta taxa de circulação e um alto nível de utilidade. Isso posiciona, naturalmente, a cadeia produtiva de baterias como uma das de maior potencial para a expansão da Economia Circular.

3.3 CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

3.3.1 Composição

O chumbo é um metal pesado, maleável e com alto grau de toxicidade aos seres vivos e muito presente na vida do homem, devido à larga utilização em processos agrícolas e principalmente industriais (BOFFE *et al.*, 2017). Ainda de acordo com Magalhães (2019), em temperatura ambiente o chumbo é encontrado no estado sólido, em minerais como a galena, anglesita, cerusita e é um mal condutor de eletricidade.

O chumbo (Pb) possui maior facilidade e durabilidade em formas ligas, é resistente a corrosão e tem uma cor azulada. O metal apresenta o número atômico igual a 82, tem peso atômico de 207,2 u e contém baixo ponto de fusão (CORDEIRO; LIMA FILHO, 1995; FORTES, 2003; MAVROPOULOS, 1999; LEITE, 2006).

Devido as suas características, o chumbo, apresenta uma diversidade de potenciais de aplicação, dentre estas, pode-se destacar a utilização como protetor radiológico, pois, apresenta uma alta densidade, absorvendo desta maneira radiação ionizante; na indústria de automóvel, onde é aplicado na confecção de baterias automotivas e também no balanceamento dos pneus (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

O chumbo é dividido em dois componentes, tais como, os compostos inorgânicos que são os sais e os óxidos de chumbo que provoca inúmeras alterações clínicas e patológicas, tendo ação preferencial pelo ossos; e os componentes orgânicos, os tetrametila e tetraetila que são solúveis em gordura e fáceis de ser absorvidos (TERÇARIOL; MATOS; CAROLINA, 2010).

3.3.2 Aplicabilidade

O chumbo metálico é utilizado em diversos processos industriais, tais como, produção de tubos, revestimento de cabos, produção de vários pigmentos, ligas de chumbo e acumuladores elétricos, PVC, vidros, borrachas, entre outros (CORDEIRO; LIMA-FILHO; SALGADO, 1996; GRIGOLETTO, 2011).

Hoje, usa-se o chumbo, por exemplo, na fabricação de canos, em revestimentos de cabos elétricos, de chapas para pias, cisternas e telhados e, principalmente, na indústria de baterias automotivas. No Brasil, são milhares de pequenas empresas, fábricas e reformadoras de baterias do sul ao norte do país, utilizando o chumbo como matéria-prima, em desenvolvimento (FERNANDES *et al.*, 2011).

Segundo Magalhães (2019) pode-se listar a presença e utilidades do chumbo em vários setores e produtos, como em diversos equipamentos e utensílios em indústria e na construção civil, munições, batons e tinturas de cabelos, ligas metálicas, mantas de blindagem contra radiação e produção de soldas.

3.4 CENÁRIO LEGISLATIVO

3.4.1 China

A China se tornou o maior produtor e consumidor de baterias de chumbo-ácido no mundo. A produção de baterias de chumbo-ácido atingiu aproximadamente 205,13 milhões (kVA) em 2016, o que respondeu por mais de 40% da produção total mundial, tornando a China o líder de mercado (HE *et al.*, 2019). Sendo assim, para lidar com a quantidade crescente de baterias de chumbo-ácido de sucata e resolver todos os tipos de problemas existentes na indústria, o governo emitiu uma série de documentos, incluindo políticas, regulamentos, padrões e diretrizes técnicas (TIAN *et al.*, 2014).

De acordo com Tian *et al.* (2014) as regulamentações relacionadas com chumbo secundário foram promulgadas pelo governo desde 2003. No entanto, a partir de 2009, o Conselho de Estado, o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério do Judiciário começaram a publicar documentos específicos para resolver problemas de contaminação por chumbo secundário. Em 2011, o 12º plano quinquenal foi implementado e isso marcou uma virada histórica para as fábricas de chumbo na China. Em fevereiro de 2011, pela primeira vez, o Conselho de Estado colocou oficialmente a proteção ambiental e ecológica em primeiro lugar no planejamento do país e 14 províncias foram incluídas nas regiões com gerenciamento chave de metal pesado.

Antes de 2013, embora houvesse alguns regulamentos sobre a indústria de fundição e resíduos perigosos, cada província optou por seguir regulamentos diferentes e, portanto, não havia padrões uniformes. Em 2013, o Ministério da Proteção Ambiental (MEP) lançou os “*Padrões de Emissão de Poluentes Industriais de Chumbo e Zinco*”, que se tornou o primeiro regulamento especial para a indústria de chumbo. O padrão ambiental foi unificado e tornou-se rígido com 6 índices modificados com base em dados anteriores especificamente para padrões de emissão de chumbo secundário (TIAN *et al.*, 2014).

Em 25 de dezembro de 2016, o governo chinês emitiu as “Implementações da responsabilidade estendida do produtor” para baterias de chumbo-ácido e três outros produtos. Essas implementações propõem uma meta e um requisito claros para a recuperação ilegal de baterias de chumbo-ácido usadas e taxa de utilização reciclável de recursos de chumbo. Até 2020, um sistema de política relevante de responsabilidade estendida do produtor será gradualmente implementado (HE *et al.*, 2019).

Portanto, o governo chinês formulou muitas políticas e regulamentos para promover a reciclagem de baterias. O Quadro 1 descreve resumidamente várias políticas e regulamentos relacionados à reciclagem de baterias.

Quadro 1 - Regulamentações relacionadas à reciclagem de resíduos.

Tempo efetivo	Leis ou políticas	Órgãos Emitentes *
26/12/1991	Aviso sobre o fortalecimento da administração de reciclagem de recursos recicláveis	SCC
31/10/2011	Opinião sobre Construção de Sistema Completo e Avançado de Reciclagem de Resíduos	SCC
20/07/2012	Décimo segundo Plano Nacional Quinquenal de Desenvolvimento Estratégico da Indústria Emergente	SCC
12/03/2013	Opiniões sobre a promoção do desenvolvimento de padrões de baterias de chumbo-ácido e indústria de chumbo reciclado	MIIT, MEP, MOC, NDRC, MOF
21/01/2015	Planejamento de médio e longo prazo para a construção de um sistema de recuperação de recursos renováveis	MOC, NDRC, MLR, MOHURD, ACFSMC
16/02/2015	Diretrizes para tecnologia viável para a prevenção e controle de poluição de fundição de chumbo reciclado	MEP
11/12/2015	Condições de acesso da indústria de baterias de chumbo e medidas provisórias para a administração do anúncio da indústria de baterias de armazenamento de chumbo	MIIT
05/05/2016	Opinião sobre a promoção da transformação e atualização na indústria de recursos recicláveis	MOC, NDRC, MIIT, MEP, MOHURD, ACFSMC
25/12/2016	Plano de implementação do sistema de extensão de responsabilidade dos produtores	SCC
26/12/2016	Reciclagem de baterias de chumbo e prevenção de poluição de produção e política de tecnologia de controle, política de tecnologia de prevenção de poluição de baterias de resíduos	MEP
11/12/2017	Relatório de status das operações das 100 maiores empresas e das 100 maiores empresas de recursos renováveis da China em 2016	ACFSMC

Fonte: A Autora (2021)

Nota: Adaptado de WANG *et al.* (2012)

*Órgãos Emitentes: SCC (Conselho Estadual da China); MIIT (Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação); MEP (Ministério da Proteção Ambiental); MOC (Ministério do Comércio); NDRC (Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma); MOF (Ministério das Finanças); MLR (Ministério de Terras e Recursos); MOHURD (Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural); ACFSMC (Federação de Cooperativas de Suprimento e Marketing de toda a China).

3.4.2 União Europeia

A União Europeia tem se empenhado em desenvolver políticas de proteção ao meio ambiente ao longo dos anos. Anualmente são jogadas fora 3 bilhões de toneladas de resíduos, sendo cerca de 90 milhões de toneladas de resíduos perigosos. Isso equivale a cerca de 6 toneladas de resíduos sólidos para cada pessoa. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCD (2020), a soma de lixo gerado na Europa cresceu 10% entre 1990 e 1995; e para 2020, estima-se que poderão ser gerados 45% mais lixo do que em 1995.

Para destinar adequadamente os resíduos sólidos a União Europeia formulou instrumentos legislativos, apoio financeiro e campanhas educacionais, envolvendo a sociedade e os setores. A União Europeia tem algumas das normas ambientais mais rigorosas do mundo cujos principais objetivos são reduzir os resíduos por meio de novas iniciativas de prevenção dos mesmos, melhorar utilização dos recursos e incentivar ao consumo mais sustentável.

A Diretiva 2002/96/CE tem como principal objetivo a prevenção de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos e, adicionalmente, a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização desses resíduos, de modo a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar.

A Diretiva 2011/65/EU tem como objetivo estabelecer regras em relação a restrição da utilização de substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos, a fim de contribuir para a proteção da saúde humana e do meio ambiente, incluindo valorização e eliminação ecologicamente corretas dos resíduos do REE.

A Diretiva 91/157/CEE36, sobre pilhas e acumuladores, tinha como objetivo era reduzir o teor de metais pesados nas pilhas comercializadas, bem como a coleta e a eliminação separada desses produtos. Em 2006, entrou em vigor a Diretiva 2006/66/CE que proíbe a colocação no mercado de pilhas e acumuladores com teores de mercúrio e cádmio acima de certo limite e determina que os Estados-Membros tomem todas as medidas necessárias para maximizar a coleta seletiva de resíduos de pilhas e acumuladores e para minimizar a eliminação de pilhas e acumuladores como resíduos urbanos indiferenciados, buscando alcançar um alto nível de reciclagem para todos os resíduos de pilhas e acumuladores.

Os Estados-Membros também deverão garantir a existência de adequados sistemas de coleta dos referidos resíduos. Tais sistemas devem:

- Permitir aos utilizadores finais que descartem as pilhas ou acumuladores portáteis num ponto de coleta acessível nas suas imediações, tendo em conta a densidade populacional;

- Exigir que os distribuidores de pilhas e acumuladores portáteis aceitem sem encargos, a devolução dos respectivos resíduos, a menos que se demonstre existirem esquemas alternativos de eficácia ao menos igual para o alcance dos objetivos ambientais da referida diretiva, entre outras determinações a respeito.

Os Estados-Membros devem ainda garantir que os produtores de baterias e acumuladores industriais, ou terceiros em seu nome, não se recusem a aceitar a devolução dos resíduos de baterias e de acumuladores industriais pelos utilizadores finais, independentemente de sua composição química e origem.

3.4.3 Estados Unidos

Nos EUA, existe uma lei nacional e um esquema de devolução para baterias recarregáveis. A lei foi aprovada porque 13 estados promulgaram suas próprias leis. A legislação considera que somente os comerciantes com vendas anuais superiores a US\$ 1 milhão estão obrigados a cumprir suas exigências (MANTUANO *et al.*, 2011).

Cabe à Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) o estabelecimento de diretrizes para orientar campanhas de educação ambiental e para o manuseio, transporte e disposição final das pilhas e baterias usadas. Esta poderá ainda autuar fabricantes, em até US\$ 10.000,00, ao constatar o não cumprimento da padronização da rotulagem e fácil remoção das pilhas e baterias dos equipamentos que as contenham (MANTUANO *et al.*, 2011).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA (2020), a legislação Universal *Waste Rule*, institui a Reduzir a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários, encorajar a reciclagem e a disposição adequada de resíduos perigosos e reduzir as exigências regulamentares sobre as empresas geradoras desses resíduos, de modo a facilitar o seu cumprimento. Esta legislação proporcionou ainda a padronização dos procedimentos de coleta, armazenamento e transporte de pilhas e baterias de nickel-cadmium Ni-Cd, outras baterias recarregáveis e de certas baterias contendo mercúrio.

A lei de Gestão de Baterias Recarregáveis Contendo Mercúrio – Lei pública 104-142, estabelece a padronização da rotulagem de baterias recarregáveis e de produtos que as contenham, e exigência para que sejam facilmente removíveis dos equipamentos.

Proibição da comercialização ou da oferta para fins promocionais de pilhas alcalino-manganês e zinco-carbono que contenham mercúrio intencionalmente introduzido e pilhas-botão de óxido de mercúrio (exceto pilhas-botão com até 25mg de mercúrio), a menos que o fabricante ou importador identifique local de coleta. Os fabricantes e importadores deverão

propor cronograma para eliminar a produção e comercialização de certas baterias contendo mercúrio em sua composição (EPA, 2020).

3.4.4 Brasil

Diferente da legislação dos países citados acima, o Brasil tem poucas regulamentações em relação ao descarte, coleta e processos estruturados de reciclagem de chumbo de baterias, dessa forma Besen e Fracalanza (2016), consideram que o marco regulatório para o saneamento básico conjuntamente com a regulação da gestão de resíduos sólidos é relativamente novo no Brasil e pode ser considerado um avanço significativo com relação às leis anteriores vigentes no país.

A regulamentação de leis ou políticas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos perigosos aconteceu de forma gradativa de diversas formas, umas delas é a Resolução CONAMA nº 401, atualmente em vigor no Brasil, que estabelece uma diminuição ainda mais significativa nos teores de mercúrio, chumbo e cádmio nas pilhas e baterias portáteis, nas baterias chumbo-ácido, automotivas e industriais, e nas pilhas e baterias dos sistemas eletroquímicos Ni-Cd e óxido de mercúrio (BRASIL, 2008). A resolução pretende ainda dar mais efetividade à responsabilidade pós-consumo dos fabricantes e importadores de pilhas e baterias, segundo à qual estes passam a obrigar-se pelo ciclo total de seus produtos, e não somente até serem adquiridos pelos consumidores (MANTUANO *et al.*, 2011).

Outra regulamentação é o Decreto Federal nº 4581 que promulga a emenda ao anexo I e adoção dos anexos VIII e IX da convenção de Basiléia sobre o controle do movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e seu depósito (BRASIL, 2003). A regulamentações para manuseio, identificação, armazenamento, ficha de emergência, característica e dimensões de produtos perigosos é a NBR 7500/2000, 7501/2011 e 7503/2020 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Além disso, a principal política sobre o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil é a lei regulamentada em nível federal pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que enfatiza a ideia de uma gestão integrada, gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigos, as responsabilidades dos geradores e do poder público. As alterações impostas pela política incluem a proibição de importação de resíduos perigosos que possam causar danos ao meio ambiente ou à saúde humana, incentivos financeiros das prefeituras federais às prefeituras para elaboração de planos de gestão de resíduos, fim dos chamados “lixões” (locais inadequados onde a população descartava seus resíduos) e implantação da logística reversa (DIAS *et al.*, 2018). Cabe ressaltar que esta política esteve em tramitação

durante 20 longos anos até ser aprovada, e isto deve-se em grande parte ao tema logística reversa, pois existe grande resistência do setor empresarial em aceitar a responsabilidade da gestão dos produtos pós-consumo (SILVA; MATTOS, 2019).

Por fim em 2019, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) iniciou a implementação do sistema de logística reversa de baterias automotivas de chumbo ácido. A medida faz parte de um acordo intersetorial firmado com a Associação Brasileira de Baterias Automotivas e Industriais (Abrabat), a Associação Nacional dos Sincopeças do Brasil (Sincopeças-BR) e o Instituto Brasileiro de Energia Reciclável (Iber).

O acordo estabelece que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de baterias integrarão o sistema, composto por pontos de coleta e pelos serviços de coleta, transporte, armazenamento e destinação final ambientalmente adequada de baterias que não têm mais uso. Importante frisar que o consumidor também faz parte do ciclo, uma vez que ele deve, voluntariamente, entregar as baterias nos pontos de coleta (MEIO AMBIENTE, 2020).

3.5 PANORAMA DA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DE BATERIAS NO BRASIL

A indústria de baterias automotivas possui uma estrutura de mercado bastante particular. Ela sobreviveu ao processo de abertura comercial dos anos de 1990, havendo acentuada presença de empresas de capital nacional, que respondem por cerca de 75% do mercado brasileiro total. O Brasil possui amplo parque industrial, sendo que os estados de São Paulo e do Paraná concentram a maior parte dessa atividade (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

O setor de baterias chumbo ácido gera anualmente a quantidade aproximada de 300.000 (trezentas mil) toneladas de baterias inservíveis, que tem origem no mercado de reposição, conforme dados da Associação Brasileira de Baterias Automotivas e Industriais (ABRABAT, 2018)

Observa-se, nessa indústria, dois mercados distintos: aquele associado a vendas para as montadoras de veículos, também denominada Implementação da Lei de Gestão de Baterias Recarregáveis e Contendo Mercúrio (OEM); e o mercado de reposição, para substituição de baterias em veículos usados (PEREIRA; BÁNKUTI, 2016).

A indústria brasileira de baterias automotivas é totalmente concentrada na produção de baterias de chumbo-ácido. Embora algumas empresas trabalhem com tecnologias mais modernas, que melhoram o desempenho de seus produtos, não há empresas que produzam baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) ou de íon-lítio (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

As vendas para as montadoras são concentradas na empresa brasileira Moura e na norte americana Johnson Controls, cada uma tem cerca de metade do mercado de OEM, embora

outras empresas eventualmente forneçam para montadoras de menor porte instaladas no Brasil. No mercado de reposição, há maior pulverização, com notável presença de empresas de menor porte e de capital nacional. Nesse mercado de reposição, a empresa Moura é líder de mercado e possui um *market share* de cerca de 30%, contra aproximadamente 25% da Johnson Controls, sendo que os 45% restantes estão divididos entre diversas fabricantes (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

Vale destacar que nesse mercado existe a participação do mercado informal, porém não há mensuração nem estimativas dessa atividade. São empresas clandestinas que fabricam as baterias chumbo-ácido sem cumprir nenhuma norma ou regulamentação, o que ocasiona um preço menor que o de mercado. Contudo, esses produtos apresentam características inferiores, durabilidade menor e ainda podem ser nocivos à saúde, já que não seguem a legislação e não cumprem requisitos básicos de segurança. Há ainda o recondicionamento de baterias feito por auto elétricas, sendo que algumas podem fazer esse trabalho em uma maior escala (PEREIRA; BÁNKUTI, 2016).

3.6 LOGÍSTICA REVERSA

Os impactos negativos na sociedade e no meio ambiente gerados pelas atividades humanas geram uma pressão crescente da sociedade exigindo que as empresas adotem novos modelos organizacionais que incluam práticas sustentáveis em todas as áreas (ANHOLON *et al.*, 2016 ; BORGES *et al.*, 2018). Nessa realidade, destaca-se o conceito de Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos (SSCM). Nesse conceito, práticas ambientais, sociais e econômicas são empregadas em atividades dentro da cadeia de suprimentos (BRÖMER; BRANDENBURG; GOLD, 2019; TUMPA *et al.*, 2019).

O conceito que inclui fluxos reversos também é conhecido como logística reversa e contribui para a sustentabilidade das cadeias de suprimentos (BARBOSA-PÓVOA; SILVA; CARVALHO, 2018 ; PRAJAPATI; KANT; SHANKAR, 2019). Na logística reversa, os produtos em fim de vida ou produtos devolvidos são recolhidos dos clientes para serem gerenciados e recuperados, o máximo possível, gerando oportunidades de mercado.

Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999) a logística reversa refere-se ao processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e econômico de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo ao descarte adequado

Nesse sentido, partes de produtos são recicladas, reutilizadas, remanufaturadas e, quando nada disso é possível, são descartadas de forma adequada (AGRAWAL; SINGH,

2019 ; DEV; SHANKAR; SWAMI, 2019), o que possibilita uma redução relevante de resíduos (PRAJAPATI; KANT; SHANKAR., 2019) Assim, a logística reversa desempenha um papel essencial nos processos de reciclagem e contribui positivamente para a responsabilidade econômica, ambiental e social (GU *et al.*, 2019), que tem sido considerada para cadeias de suprimentos de diversos setores nas últimas décadas (ARRUDA *et al.*, 2013 ; BARATA *et al.*, 2014 ; SILVA *et al.*, 2018).

3.6.1 Logística pós-consumo

A logística reversa de pós-consumo está no cerne do processo de descarte de um bem pela sociedade, cujo momento ao fazer o descarte pode variar entre dias e anos (NASCIMENTO *et al.*, 2018). A logística reversa de pós-consumo também pode ser entendida como a parte da logística reversa das empresas que busca a recuperação de produtos recicláveis, os quais podem ser enviados a destinos finais tradicionais, um exemplo de aterros sanitários e incineração, ou podem retornar ao ciclo produtivo (SOUZA; PAULA; SOUZA-PINTO, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2018)

Os produtos provenientes do pós-consumo ou desses materiais têm suas classificações conforme o seu estado de vida e origem dependendo das condições de uso, do término de sua vida útil e dos resíduos industriais. Dentro do padrão das condições de uso existe interesse na reutilização do produto, aumentando a vida útil, adentrando o canal reverso de reuso, até alcançar o fim de vida útil (OZIAS, 2017).

De acordo com Klassen (2012), os bens de pós-consumo descartáveis retornam por meio do canal reverso de reciclagem industrial, onde os materiais serão reaproveitados, tornando-se matéria-prima secundária e voltando ao ciclo produtivo ou não havendo condições de reaproveitamento são classificados como disposição final e encaminhados a aterros sanitários, lixões ou incineração.

É possível observar um crescimento da logística reversa de pós-consumo ao mesmo tempo que se verifica um aumento demasiado de lançamento de novos produtos com o uso de outras fontes provenientes de constituintes de materiais de resíduos sólidos recuperados (FERREIRA, 2012).

Diante do exposto, a responsabilidade das indústrias em relação ao uso de recursos naturais requer um processo de sustentabilidade econômica e de redução de desperdícios provocados pelo pós-consumo (OZIAS, 2017).

3.7 PREVISÃO DA GERAÇÃO DE SUCATAS DE BATERIAS COMO FERRAMENTA DE GESTÃO

3.7.1 Análise de séries temporais

Na nossa sociedade cada vez é importante a criação de modelos que nos ajudem a compreender os fenômenos que nos rodeiam, assim como fazer os mais diversos tipos de previsões. Escolher o modelo mais confiável e que possibilite as previsões mais fidedignas, sempre foi um propósito e uma preocupação ao longo dos tempos (XAVIER, 2016).

A previsão é o processo de antecipar eventos futuros com base em informações históricas relacionadas a esses eventos após estudar seu comportamento no passado e no presente, seja nos aspectos econômicos (produção, vendas, exportação, importação, etc.) ou nos aspectos naturais (temperatura, precipitação, queda de chuva, etc.). A importância da previsão é que ela ajuda no planejamento futuro e na tomada de decisões e também garante em grande parte a eficiência e eficácia em conhecer as necessidades a curto, médio e longo prazo (ABDEL-KHALEK *et al.*, 2020)

Segundo Corrêa, Gianese e Caon (2012), os métodos de previsão de demanda são classificados em dois grupos. No primeiro estão os métodos qualitativos, que são baseados em julgamentos e opiniões pessoais, utilizados quando não se requer muito para coleta de informações. E o segundo é composto por métodos quantitativos, no qual as previsões são realizadas através de dados e técnicas estatísticas. Para Albertin e Pontes (2016), as técnicas de previsão de demanda podem ser usadas em qualquer circunstância desde que haja disponibilidade de tempo, dados, recursos, e horizonte de previsão.

Os modelos quantitativos podem ser baseados em séries temporais ou modelos causais (CRUZ, 2016). Pode-se definir série temporal como uma sequência de dados de uma determinada variável alocada num período (MARANGONI, 2010). A análise de séries temporais identifica padrões não aleatórios na série de dados de uma variável de interesse, e a observação deste comportamento passado pode permitir fazer previsões sobre o futuro, orientando a tomada de decisões (REIS, 2015).

A suposição básica que norteia a análise de séries temporais é que há um sistema causal relativamente constante, relacionado com o tempo, que exerceu influência sobre os dados no passado e pode continuar a fazê-lo no futuro. Este sistema causal costuma atuar criando padrões não aleatórios que podem ser detectados em um gráfico da série temporal, ou mediante algum outro processo estatístico.

De um modo geral, as séries temporais são decompostas em quatro componentes, a saber: i) tendência – refere-se ao movimento ascendente ou descendente da série durante o período de observação; ii) sazonalidade – é a flutuação periódica da variável submetida à análise. Consiste em efeitos estáveis, que influenciam no comportamento da série; iii) ciclos – são movimentos cíclicos que ocorrem em períodos não conhecidos e que se completam num período superior a um ano; e iv) resíduos – referem-se aos movimentos aleatórios, ruídos, ou seja, que representam a parte restante, quase inexplicável da série temporal. Compreende a picos e vales fora da média. Às vezes, eles podem ser suficientemente altos a ponto de mascarar a tendência e a sazonalidade (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYDMAN, 1998; MARTIN *et al.*, 2016; DEB *et al.*, 2017).

A análise de séries temporais pode ainda ser dividida em duas categorias: análise univariada e multivariada. A univariada é utilizada para descrever séries temporais que possuem uma única observação sequenciada ao longo do tempo, enquanto a análise multivariada, é identificada quando um grupo de variáveis e suas interações envolvidas são consideradas na série temporal (DEB *et al.*, 2017).

De acordo com Moreira (2008), apesar de existirem distintos métodos de previsão, algumas características são comuns a todos: o comportamento do passado interfere no comportamento do futuro, ou seja, as previsões consideram de alguma maneira experiências anteriores e os resultados não são perfeitos, pois quanto maior o horizonte de predição, maior será o erro associado.

Neste sentido, torna-se imprescindível a utilização de testes estatísticos para avaliar o comportamento e as características da série. Esses testes são fundamentais para se averiguar a confiabilidade do método de previsão utilizado, permitindo assim, ter uma boa ideia de quais serão os valores futuros mais prováveis para a série investigada. Os testes mais utilizados para avaliar o comportamento e as características da série, são: teste de normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov; Anderson-Darling e Shapiro-Wilk), teste de correlação (Pearson; Spearman e Durbin-Watson), teste de estacionariedade (Dickey-Fuller Aumentado; Phillips-Perron e KPSS) e outros testes (FARREL; STEWART, 2006; SOUZA; SAMOHYL; MIRANDA, 2008).

De acordo com Floriano *et al.* (2006), séries temporais normalmente têm distribuição não-linear e métodos como o dos mínimos quadrados, estatística F de Fischer e t de Student podem estimar erroneamente o erro-padrão e apresentar viés na análise de regressão de séries temporais.

Desta forma, um dos grandes desafios inerentes ao entendimento de séries temporais envolve a identificação de modelos capazes de prever de maneira confiável o comportamento futuro de determinado evento (BITTENCOURT *et al.*, 2020).

3.8 MODELO ARIMA

Conforme Ediger e Akar (2007), o ARIMA é um dos mais populares modelos para análise da previsão de demanda para séries temporais. Os modelos ARIMA são modelos que utilizam apenas dados históricos de séries temporais com o intuito de expressar como as séries reagem de acordo com a variação estocástica anterior (BABAI; ALI; BOYLAN, 2013). Os modelos ARIMA podem ajudar a entender a dinâmica dos dados em uma determinada aplicação (BABU; REDDY, 2015).

Difundida pela metodologia proposta Box e Jenkins (1976), que estão divididas em três etapas, tais como, identificação, no qual realiza testes estatísticos para compreensão das características das séries, em estimação, que por meio da análise da Auto Correlação e Auto Correlação Parcial, é determinado os pontos utilizados para o modelo ARIMA (p, d, q) e diagnóstico, onde se valida os resultados por meio dos resíduos gerados e verificação da validade dos pressupostos.

De acordo com Box e Jenkins (1976) os modelos ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving-Average) geram previsões através de informações contidas na própria série cronológica. Estes modelos baseiam-se em equações contendo termos estocásticos (stochastic linear difference equations), em uma classe de equações lineares conveniente para a modelagem de previsões de séries temporais.

Ainda segundo o autor supracitado e depois destacado por Werner e Ribeiro (2003), o emprego da metodologia se baseia em três parâmetros para a construção dos modelos ARIMA, são eles: autorregressivo (p) – número de termos do modelo que descreve a dependência entre observações sucessivas; diferenças (d) – avaliar o aspecto estacionário da série e em caso negativo realiza processos de diferenciação até alcançar a estacionariedade dos dados; e, médias móveis (q) – média aritmética que se baseia no impacto dos dados mais recentes da série. No modelo, assim que identificado esses componentes, os mesmos são descritos matematicamente como ARIMA (p, d, q).

As técnicas de previsão utilizadas pelo o modelo ARIMA, fundamentam-se na ideia de transformar as séries temporais em estacionárias pelo processo de diferenciação (DEB *et al.*, 2017). Conforme Almeida (2018), a estacionariedade é uma propriedade que indica se os

atributos estatísticos (média, variância e função de autocorrelação) permanecem constantes ao longo do tempo.

Desse modo, para validar os requisitos de estacionariedade, normalmente são utilizados testes de hipóteses, como o teste de Dickey-Fuller aumentado, com a finalidade de verificar se a função que representa a série contém raiz unitária nos operadores de retardo (ALMEIDA, 2018), bem como são utilizadas funções de Autocorrelação Amostral (ACF) e Autocorrelação Amostral Parcial (PACF) para se analisar a influência das observações passadas no comportamento futuro da série (MARTIN *et al.*, 2016).

Conforme Zhang (2003), os modelos ARIMA são bastante flexíveis na medida em que podem representar vários tipos diferentes de séries temporais, ou seja, autorregressiva pura (AR), média móvel pura (MA) e séries AR e MA combinadas (ARMA). Segundo Cowpertwait e Metcalfe (2009), o processo que gera a série temporal em um modelo ARMA, apresenta-se da seguinte forma (Eq. 1):

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

Onde y_t e ε_t são o valor real da série e o erro aleatório no tempo t , respectivamente. Os erros aleatórios (ε_t) são assumidos como ruído branco, isto é, se comportam como independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante (ALMEIDA, 2018). Já os termos ϕ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) e θ_j ($j = 1, 2, 3, \dots, q$) são parâmetros do modelo, no qual p e q são números inteiros associados às ordens dos processos AR e MA, respectivamente (ALMEIDA, 2018).

3.9 REVISÃO SISTEMÁTICA

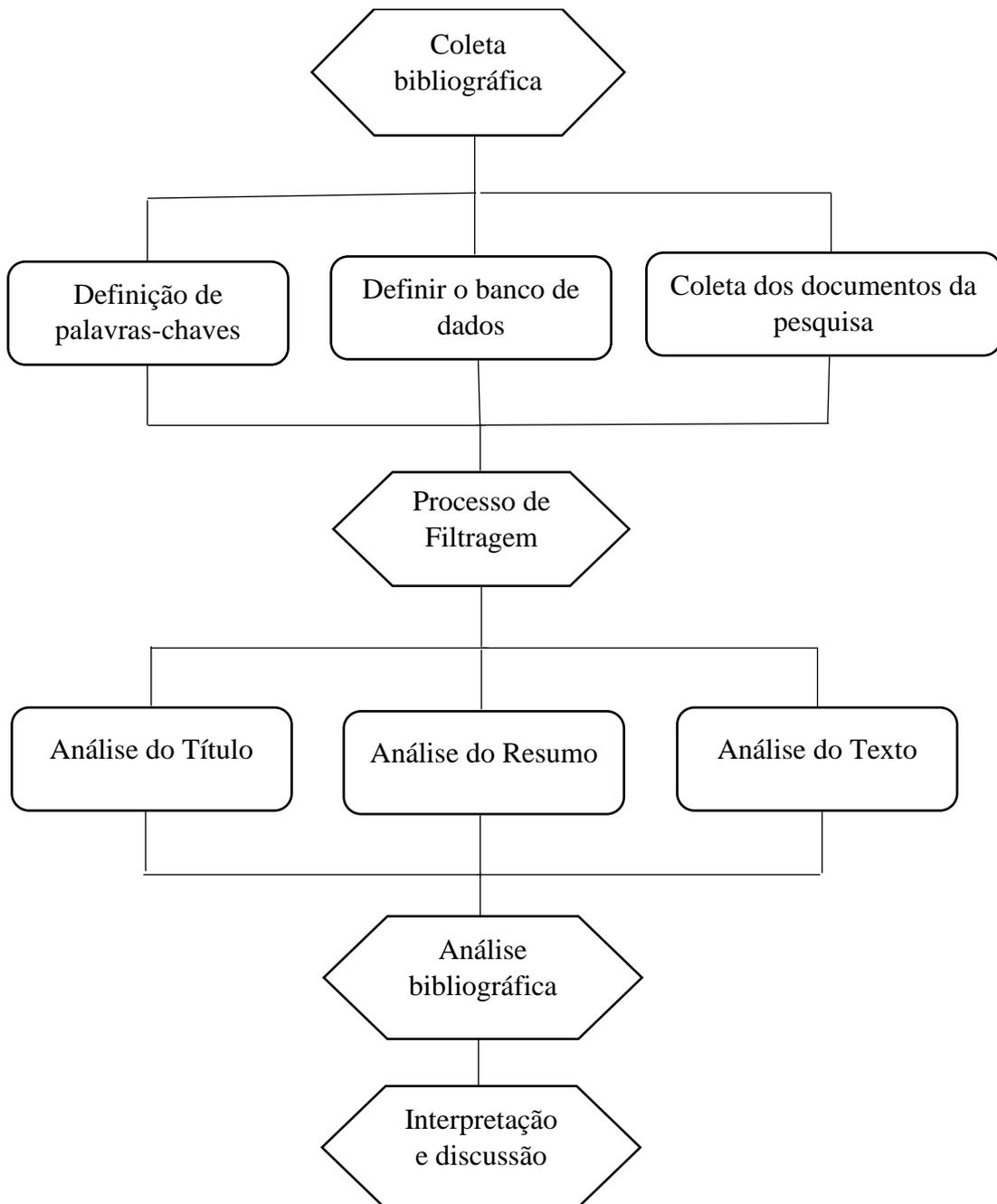
3.9.1 Método de revisão

O referido trabalho, utilizou-se como forma de complementação o estudo da revisão sistemática da literatura, com o propósito de compreender os padrões de conceitos, linhas de pesquisa e principais autores, para que se tenha um arcabouço teórico sobre o conhecimento estudado. Segundo Baek *et al.* (2018) a realização de uma revisão de literatura evita a duplicação de pesquisas ou, quando for de interesse, o reaproveitamento e a aplicação de pesquisas em diferentes escalas e contextos.

Desta forma, a revisão sistemática vem sendo muito utilizada na atualidade em relação a outros tipos de revisões, pois tem como intuito entender e analisar o corpus documental do contexto estudado.

De acordo com Galvão e Ricarte (2019) a revisão sistemática está focada no seu caráter de reprodutibilidade por outros pesquisadores, apresentando de forma explícita as bases de dados bibliográficas que foram consultadas, as estratégias de busca empregadas em cada base, o processo de seleção dos artigos científicos, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e o processo de análise de cada artigo. Sendo assim, para se chegar na revisão sistemática desejada o presente trabalho realizou as seguintes etapas descritas no Fluxograma 1 a seguir.

Fluxograma 1 - Fluxograma da revisão sistemática.



Fonte: A Autora (2021)

De acordo com as etapas definidas, os resultados adquiridos serão discutidos na seção seguinte.

3.9.2 Coleta bibliográfica

Inicialmente para realizar a revisão da literatura deve ser definido em qual base de dados será feita a coleta dos trabalhos bibliográficos para a análise. Desta forma, a base escolhida foi a *Web of Science* plataforma que é muito utilizada no meio acadêmico e que contém publicações de artigos online com renomadas revistas da comunidade científica, logo, facilitando a pesquisa e as análises bibliométricas.

Sendo assim, para se ter um embasamento teórico fundamentado e objetivo foram selecionados artigos completos de autores renomados e confiáveis da área em estudo. Por conseguinte, a revisão da literatura terá um panorama de vários pontos importantes descrito pelos autores principais.

Diante dessas diretrizes, foram estabelecidos caminhos para a realização da pesquisa de artigos, onde a busca deveria abranger não somente em relação a aplicação de modelos de previsão para baterias automotivas, mas também para resíduos eletroeletrônicos, a partir disto foram definidos dois caminhos de palavras-chaves a serem seguidos, no qual foram as únicas palavras que direcionou para pesquisas no tema estudado, como pode ser visto na Quadro 2. O primeiro campo foi relacionado aos modelos de previsão com variação em baterias automotivas, lixo eletrônico e resíduos eletroeletrônicos, já o segundo campo foi relacionado a baterias automotivas com variações em resíduos eletroeletrônicos, reciclagem e reutilização. Também foi utilizado o operador “AND” para pesquisar trabalhos que apresentem mais de um termo no mesmo artigo, ou seja, “Palavra-chave 1” e “Palavra-chave 2”.

Quadro 2 - Palavras-chave

CAMPO 1	Forecasting model AND e-wast; Forecasting AND automotive battery; Forecasting model AND WEEE.
CAMPO 2	Battery AND WEEE; Battery AND recycling; Battery AND reuse.

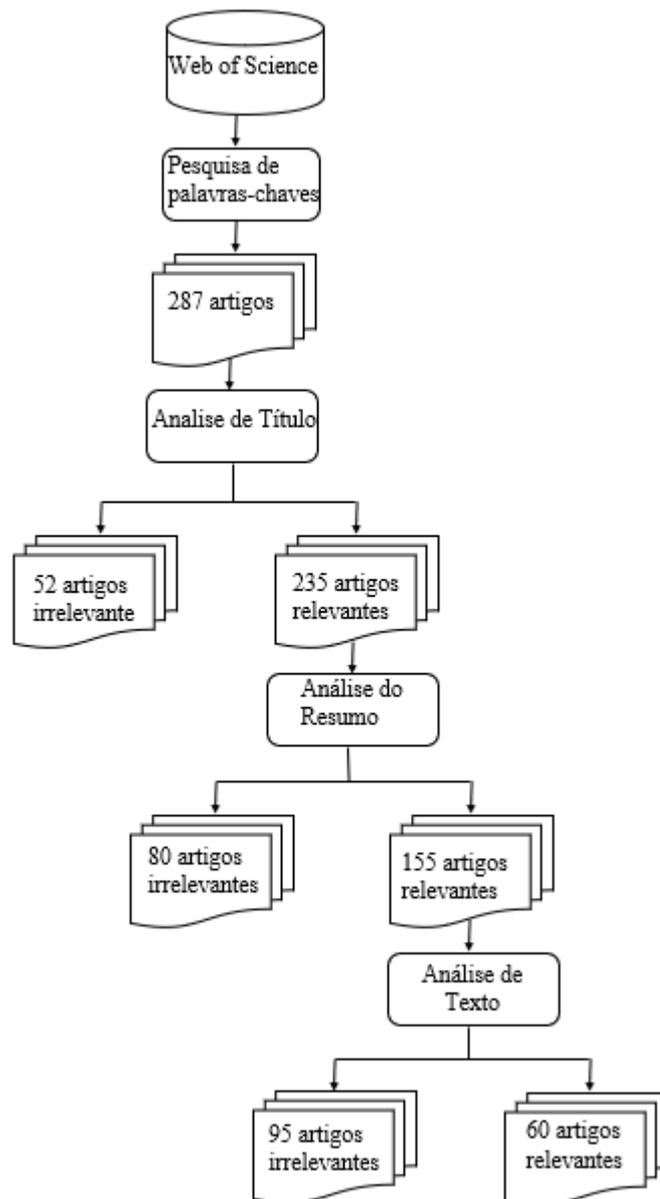
Fonte: A Autora (2021)

3.9.3 Processo de filtragem

Depois de estabelecer as palavras-chaves, foram realizadas pesquisas na plataforma Web of Science para selecionar os artigos e realizou-se o processo de filtragem dos trabalhos descritas na Fluxograma 2, baseando-se em três tipos de refinamentos, que são eles, o título, o resumo

e o corpo do texto. Na busca do campo 1 e campo 2 foram encontrados 287 artigos, onde em seguida aplicou-se a filtragem em relação ao título, assim restando 235 artigos, posteriormente fez-se a filtragem em relação ao resumo e restando 155 artigos e pra finalizar aplicou-se a filtragem do corpo do texto, dessa forma restando 60 artigos para a revisão sistemática.

Fluxograma 2 - Etapas do processo de filtragem



Fonte: A Autora (2021)

Nota: Adaptado de Araújo, Alencar e Mota (2017)

Ainda vale ressaltar que a plataforma WOS tem em sua característica uma varredura temporal de artigos desde 1945 até os dias atuais 2020, mas os artigos selecionados para a revisão de literatura para este presente trabalho só foram a partir dos anos de 1999 até 2020.

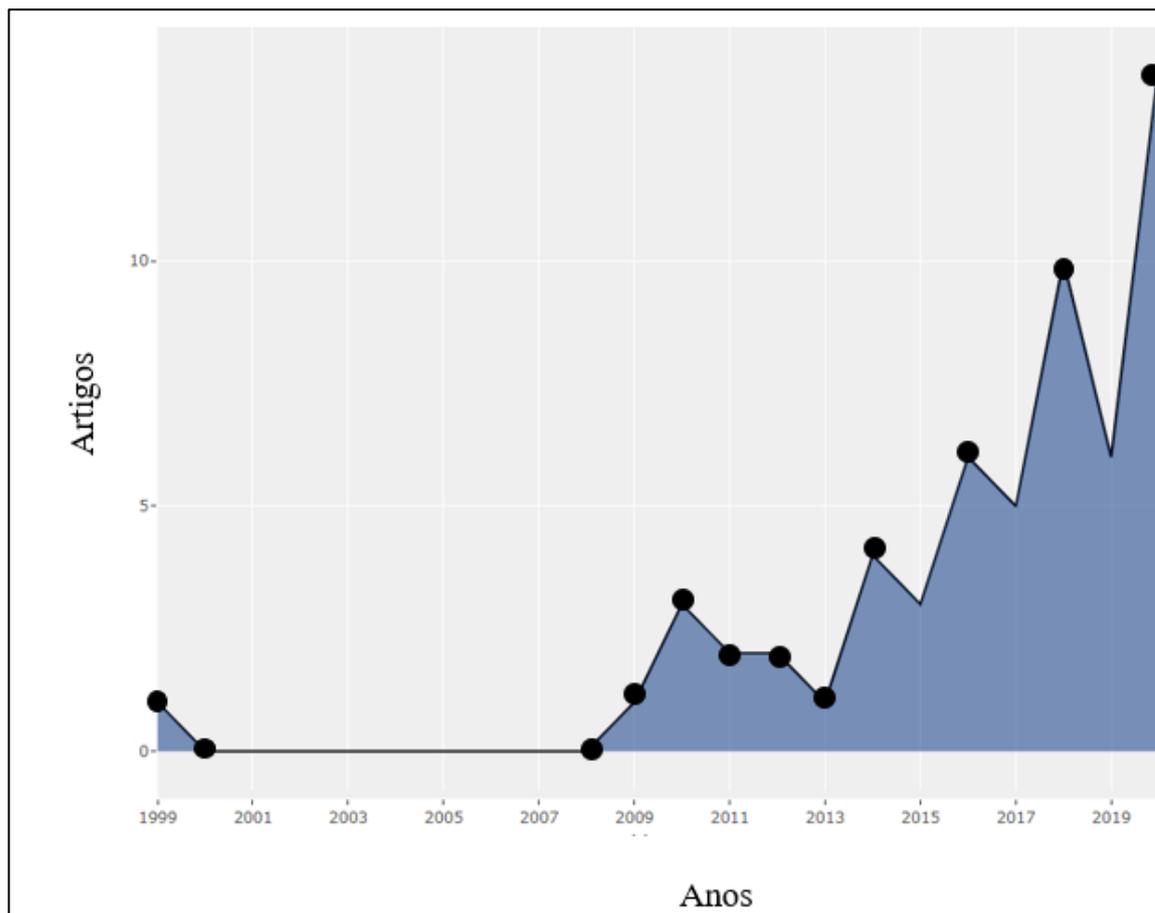
3.9.4 Análise bibliográfica

Após a finalização da seleção dos artigos mais relevantes, o próximo passo efetuado foi a análise bibliográfica dos 60 documentos, com o objetivo de levantar as principais informações sobre fontes fidedignas de fundamentação científicas, autores, citações, referências, trabalhos publicados, país de origem e padrões nacionais e internacionais de coautoria.

Contudo, com a necessidade de entender e afirmar a qualidade das informações contidas nos artigos, aplicou-se uma inspeção bibliométrica por meio do software *RStudio* que tem em sua interface uma biblioteca intitulada *Bibliometrix* direcionada para uma revisão abrangente de mapeamento científico da literatura científica. Conforme Aria e Cuccurullo (2017), a *Bibliometrix* através de suas funções internas é possível realizar o processamento dos artigos e gerar gráficos e estudos de correlações entre os autores e as citações.

Dessa forma, com a *Bibliometrix* pôde-se realizar a construção das análises bibliométricas. Sendo assim, pode ser visto no Gráfico 1 que a produção científica sobre aplicação de modelos de previsão da quantidade de resíduos eletroeletrônicos, baterias automotivas e lixo eletrônicos vem aumentando nos últimos anos, tendo 1 artigo em 1999 e passando a ter o seu maior pico em 2020 com 14 artigos publicados na área.

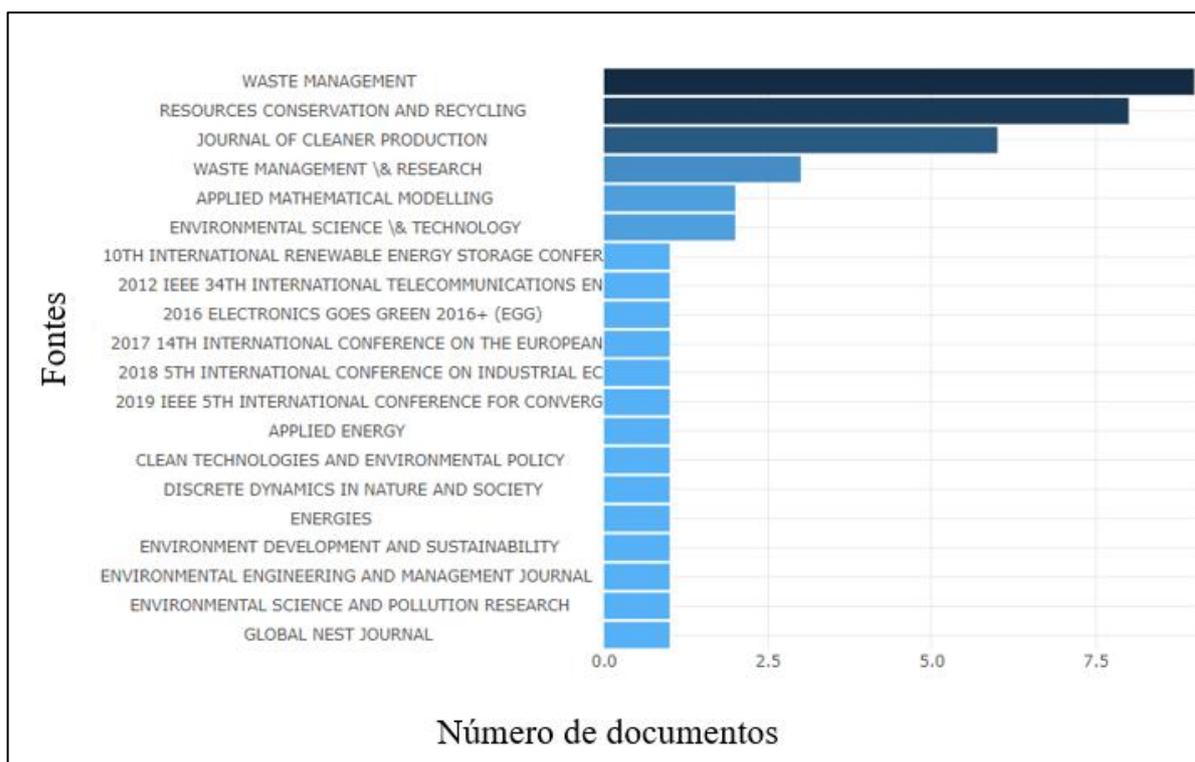
Gráfico 1 - Produção científica anual da análise bibliográfica



Fonte: A Autora (2021)

Deste modo, prosseguindo com a análise, o Gráfico 2 mostra a relação das 20 principais fontes que estão publicadas os artigos. Com isso, a WASTE MANAGEMENT está em primeiro lugar com 9 artigos indexado em seu banco de dados e em seguida vem a RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING com 8 artigos, a JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION com 6 artigos, a WASTE MANAGEMENT/& RESEARCH com 3 artigos e a APPLIED MATHEMATICAL MODELLING e ENVIRONMENTAL SCIENCE/TECHNOLOGY com 2 artigos cada, representando em conjunto 50% dos artigos publicados da análise bibliográfica. Essa representatividade é altamente significativa por serem analisadas 36 repositórios de diversas áreas.

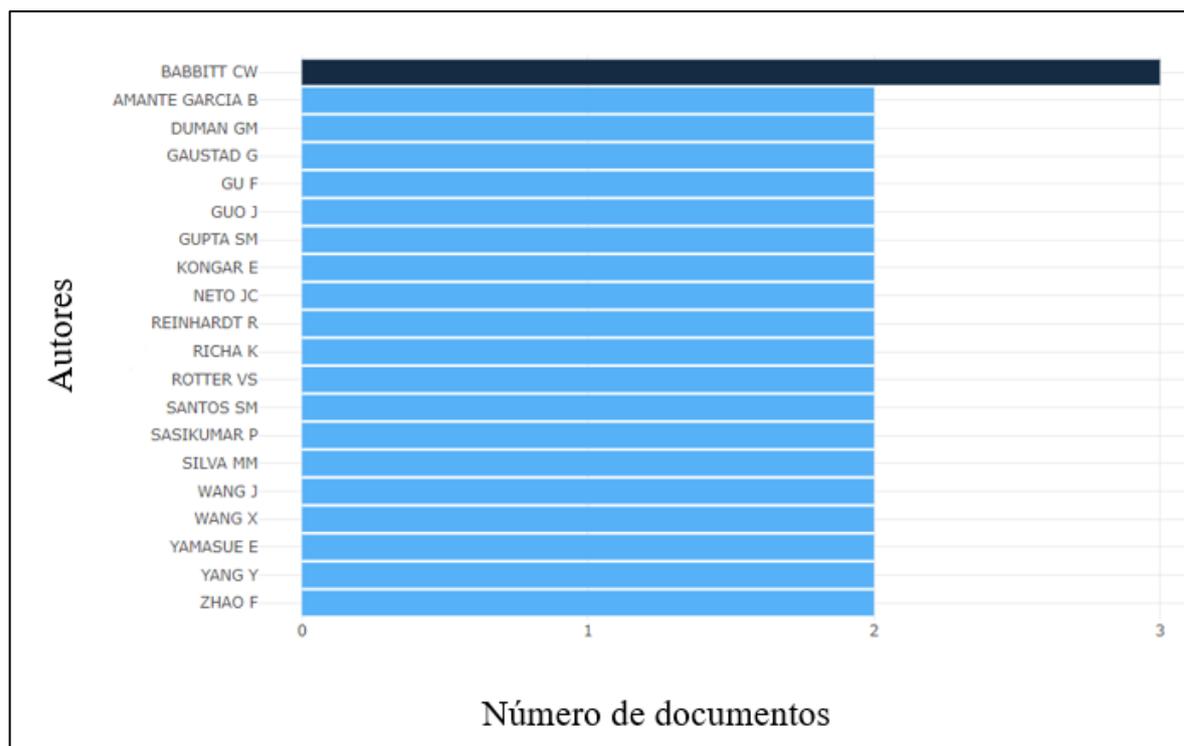
Gráfico 2 - Fontes mais relevantes da análise bibliográfica



Fonte: A Autora (2021)

Procedendo, foi possível realizar a mesma análise para os autores. Sendo assim, o Gráfico 3 também ilustra as relações dos 20 principais autores, onde os mesmos contribuem para o avanço da quantidade de publicações na área de aplicação de modelos de previsão e baterias de automóveis. Dessa forma, como pode ser visto no gráfico as quantidades de publicação dos autores são as mesmas com 2 artigos cada diferenciando somente de Babbitt CW com 3 publicações.

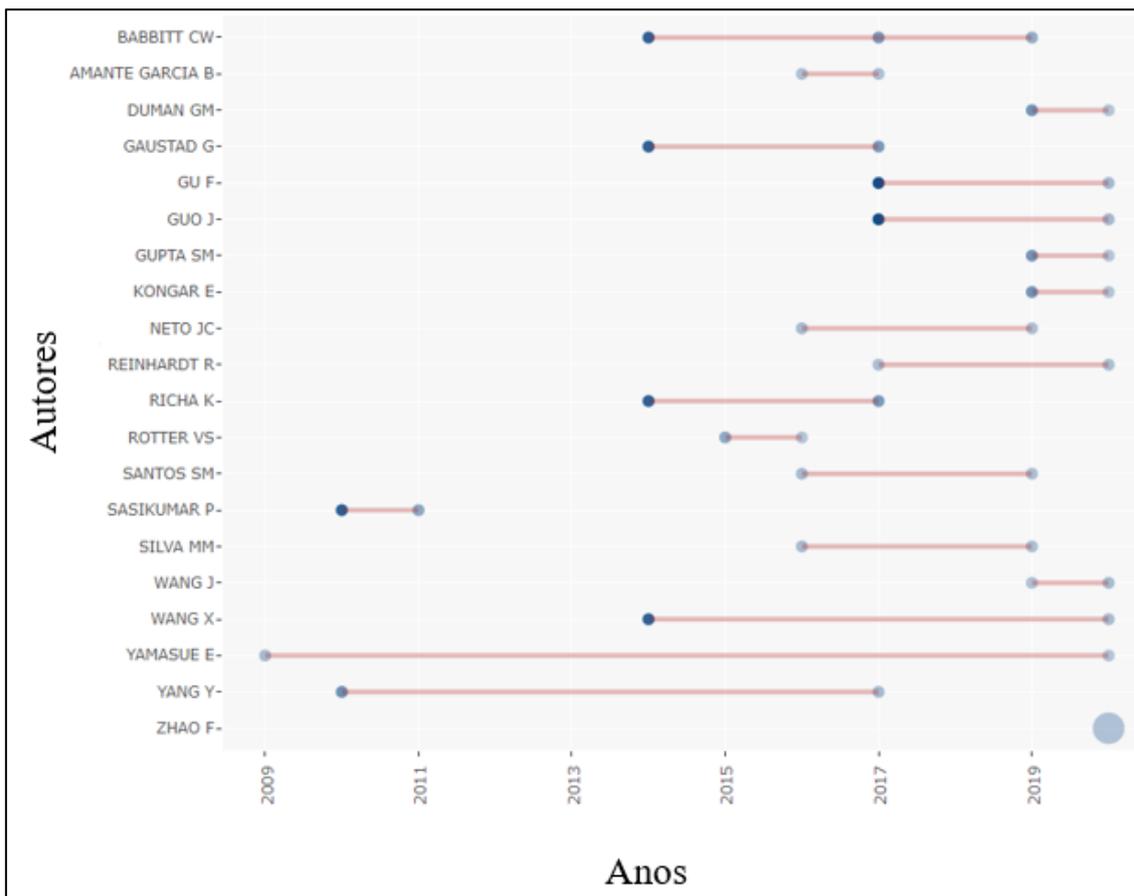
Gráfico 3 - Autores mais relevantes



Fonte: A Autora (2021)

Em seguida para entender o comportamento dos principais autores sobre suas publicações na área de modelos de previsão e baterias de automóveis ao longo do tempo, foi aplicado uma análise temporal dos artigos que compõe a revisão sistemática. No Gráfico 4 são demonstrados intervalos entre uma publicação e outra de cada autor e um ponto importante a ser destacado é o intervalo das publicações, onde há uma diminuição ao longo do tempo, dando uma relevância ao crescimento de pesquisas nesta área como demonstrado no Gráfico 1.

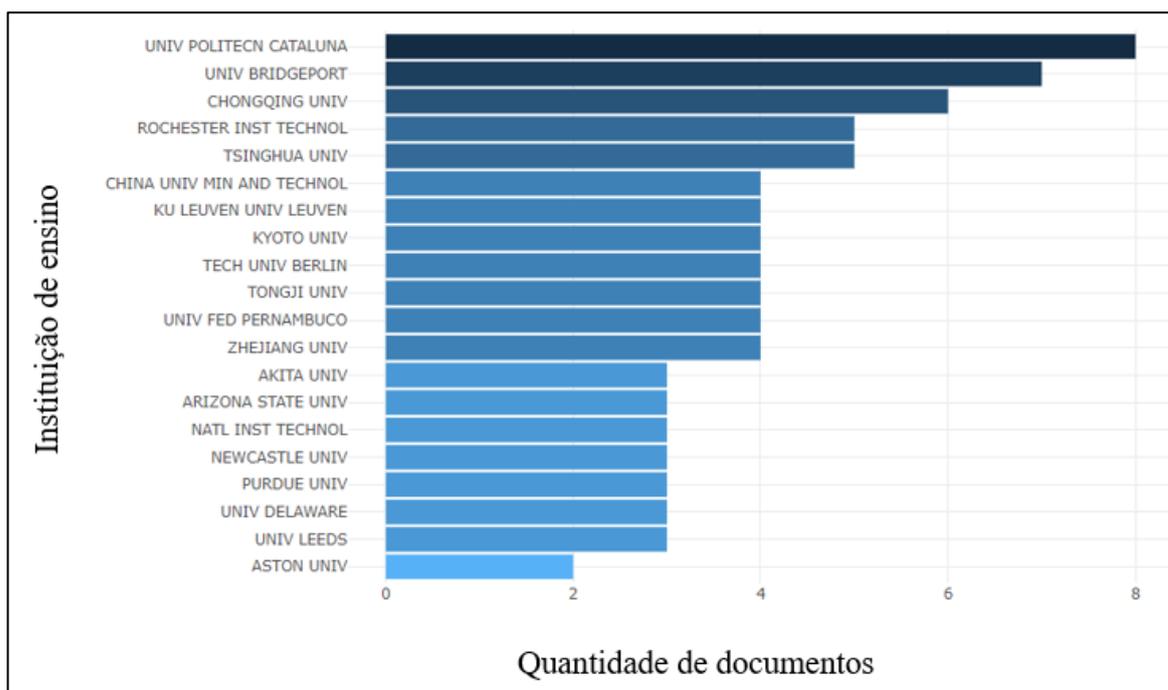
Gráfico 4 - Produção dos autores ao longo do tempo



Fonte: A Autora (2021)

Posteriormente foi levantado quais instituições de ensino mais contribuíam para o aumento de pesquisas na área. A vista disso, as três primeiras colocadas são a UNIV POLITECN CATALUNA com 8 publicações, a UNIV BRIDGEPORT com 7 publicações e a CHONGQING UNIV com 6 publicações, que estão evidenciadas no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Instituições de ensino mais relevantes



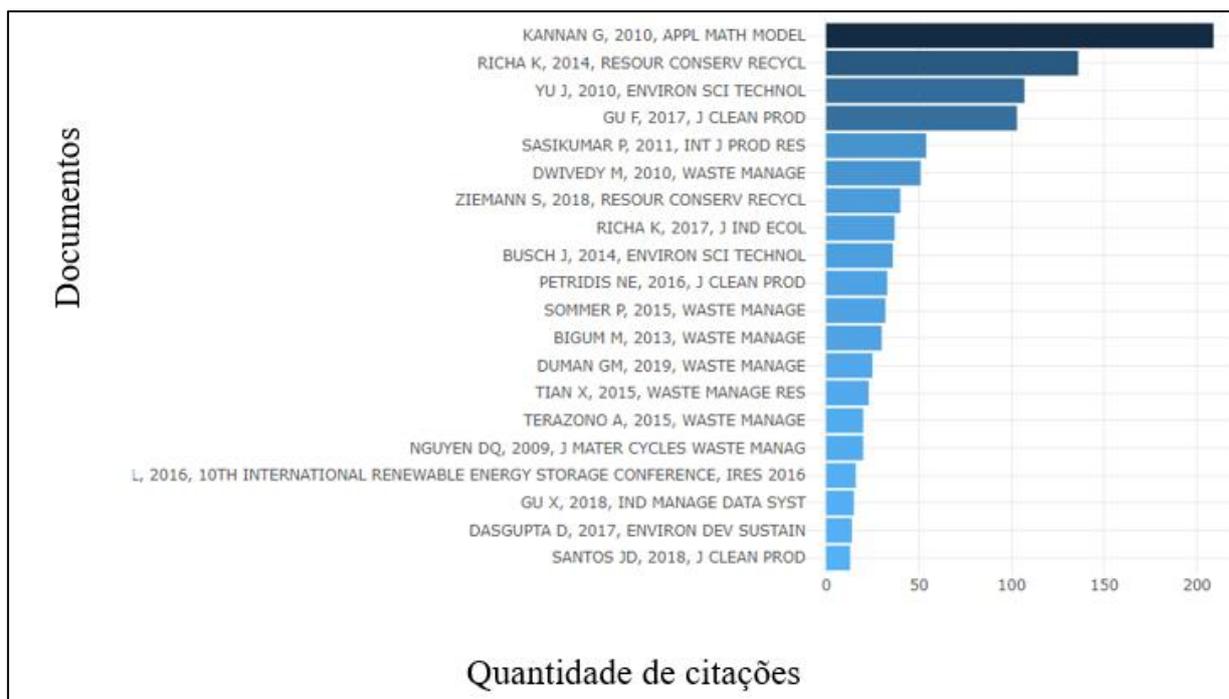
Fonte: A Autora (2021)

Para saber se um trabalho é relevante no meio acadêmico o mesmo precisa ser bem referenciado. Desta maneira, o Gráfico 6 os 20 artigos mais citados mundialmente. Em destaque está o trabalho de Kannan, Sasikumar e Devika (2010), com 209 citações que trata sobre a recuperação ideal de chumbo secundário para produzir novas baterias, envolvendo a análise de aquisição, produção, distribuição, reciclagem e descarte de materiais e para isso foi desenvolvido um modelo de rede de cadeia de suprimentos de ciclo fechado de múltiplos níveis, períodos e múltiplos produtos para devoluções de produtos.

Já em seguida está o de Richa (2014) com 136 citações, que apresenta uma análise sobre a perspectiva futura da quantidade de resíduos de baterias de ion-lítio nos Estados Unidos, em que foi aplicado o Modelo de Fluxo de Material Orientada para o Futuro (MFA) para realizar as devidas quantificações.

Os trabalhos citados acima abordam sobre a recuperação de resíduos de baterias automotivas e são os mais citados mundialmente dos 60 artigos do banco de dados da análise bibliográfica, em que traz para o referido trabalho uma relevância importante ao assunto abordado.

Gráfico 6 - Documentos mais citados globalmente

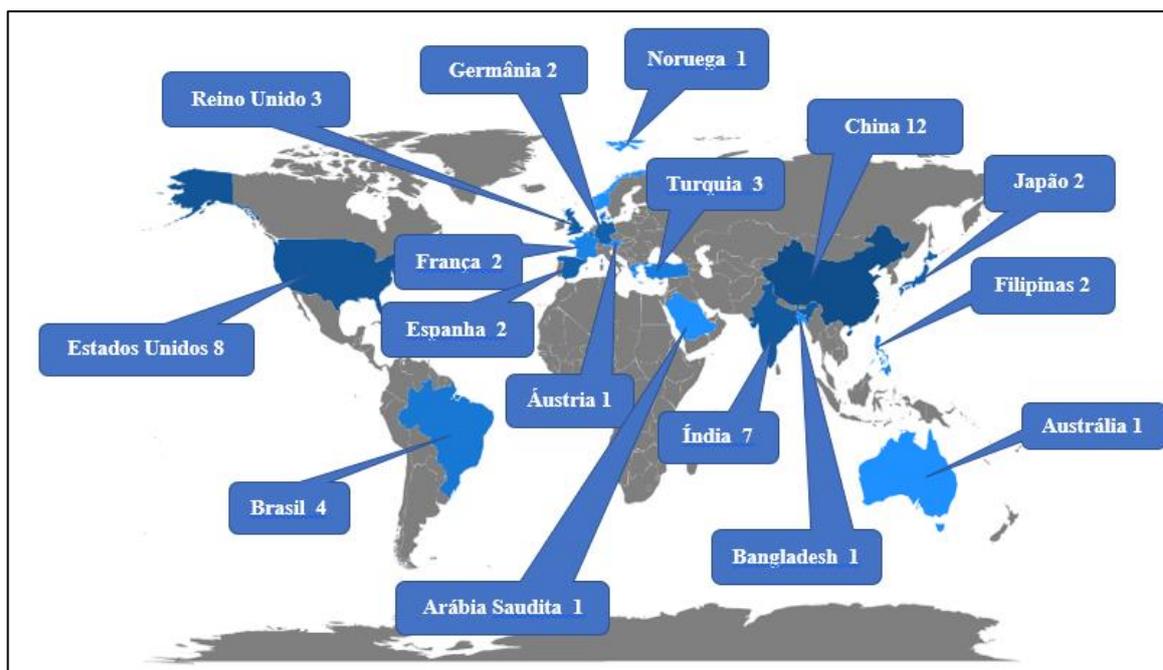


Fonte: A Autora (2021)

Pesquisas na área de modelos de previsão e baterias automotivas cresceram significativamente em vários países nos últimos anos. Sendo assim, foi desenvolvido um mapa mundial da quantidade de produção científica desenvolvida por cada país derivados do banco de dados da referida revisão sistemática.

Como pode ser observado no Mapa 1, os países em destaque com a quantidade maior de produção é a China com 12 produções publicados na área e em seguida os Estados Unidos com 8 publicações e a Índia com 7 produções. É importante ressaltar que não se pode tirar conclusões somente das informações fornecidas pela figura. Entretanto, é possível salientar que o investimento em pesquisas, desenvolvimento econômico, leis e diretrizes governamentais seja um impulsionador para uma maior produção de pesquisas.

Mapa 1 - Produção científica de cada país



Fonte: A Autora (2021)

3.9.5 Interpretação e discussão

A análise bibliográfica realizada demonstrou uma grande relevância na compreensão e direcionamento de pesquisas voltadas para a recuperação de resíduos em segunda vida aplicados a modelos de previsão. Por consequência a análise revelou o aumento de números de publicações nos últimos anos na área de interesse, no qual evidencia investimentos e esforços na busca de possibilidades de tomadas de decisão para o gerenciamento ambiental adequado desses resíduos.

Esse aumento de publicações nesta temática se deve pelo interesse dos autores em buscar soluções com aplicação de modelos de previsão e recuperação de resíduos em segunda vida de baterias automotivas para posteriormente realizar o gerenciamento adequado. Diante disto, isso se deve por causa do crescimento da quantidade de produtos descartados no meio ambiente e também pelas novas leis e diretrizes impostas pelos governos ao mercado de negócios para que esses compostos sejam descartados adequadamente e se possível destinados para uma nova utilização.

Devido à natureza disruptiva dos novos produtos eletrônicos, toda vez que um novo produto é introduzido no mercado, um ou mais produtos provavelmente se tornam obsoletos. Portanto, o gerenciamento de lixo eletrônico, de resíduos eletroeletrônico e de

baterias automotivas tornou-se um grande desafio para os governos (DUMAN; KONGAR; GUPTA, 2020).

Conforme Kannan, Sasikumar e Devika (2010), por causa da implementação da legislação governamental, responsabilidade social, preocupação ambiental, benefícios econômicos e conscientização do cliente, as indústrias estão sob uma grande pressão não apenas para fornecer produtos ecológicos, mas também para receber o produto de volta após seu uso. A questão na logística reversa é a devolução dos produtos usados, seja na garantia, seja no final do uso ou do aluguel, para que os produtos ou suas peças sejam descartados, reciclados, reutilizados ou remanufaturados de forma adequada.

Com essas ações ambientais e diretrizes impostas foi possível observar pesquisas na área aplicadas a vários tipos de resíduos, nos quais abrangem, recuperação de baterias de chumbo-ácido (ZHANG; LIU, 2018), estimativas da quantidade de celulares (VIVECK; KHUTETA; SHAHA, 2019), resíduos eletroeletrônicos (HAMOUDA; ROTTER; KORF, 2016), motor de cilindro (LI *et al.*, 2018), lixo eletrônico (MMEREKI *et al.*, 2018; DASGUPTA *et al.*, 2017), resíduos de computadores (PETRIDIS *et al.*, 2016), baterias de íon-lítio e ímãs de motor neodímio (BUSCH *et al.*, 2014), chumbo das baterias de chumbo-ácido (CABRAL NETO; SILVA; SANTOS, 2016; TIAN *et al.*, 2015), baterias estacionária (BYRNE, 2012), resíduos fotovoltaicos (SANTOS; ALONSO-GARCÍA, 2018), e visores de tubo de raios catódicos (SCHUMACHER; SCHUMACHER; AGBEMABIESE, 2014). Assim, pode-se concluir o quanto há trabalhos aplicados a vários tipos de resíduos e como podem ser desenvolvidas futuramente mais pesquisas no campo de estudo.

No que diz respeito aos trabalhos mais citados mundialmente, os mesmos abordam especificamente sobre a recuperação de resíduos de baterias automotivas e são os mais referenciados dos 60 artigos do banco de dados da análise bibliográfica, dessa forma traz para o referido trabalho uma relevância importante ao assunto abordado.

A análise efetuada da quantidade de produção de cada país evidencia a superioridade da China, Estados Unidos e Índia em desenvolvimentos de pesquisas na área abordada. Estas nações vêm buscando melhorias políticas de gerenciamento ambiental de resíduos de produtos por meio de modelos de previsão para tomadas de decisões estratégicas. Contudo, países como o Brasil, Arábia Saudita e Bangladesh vem desenvolvendo lentamente diretrizes relacionadas a adequação de coleta, descarte e reutilização de baterias automotivas.

Posto isto, é proposto que os pesquisadores se atenham a vários tipos de campos de pesquisas ascendentes em relação a previsão de demanda de chumbo secundário de baterias automotivas, dos quais se destacam alguns temas, como gerenciamento da vida útil da bateria

de automóveis, estratégias de tomadas de decisões, propostas de alternativas, políticas legislativas e fatores de riscos e pontos críticos. Além disso, outro meio de pesquisas futuras é na aplicação de ferramentas de modelagem de previsão, pois há uma incipiência de controle de estratégias de chumbo-ácido de baterias automotivas nos países citados neste contexto.

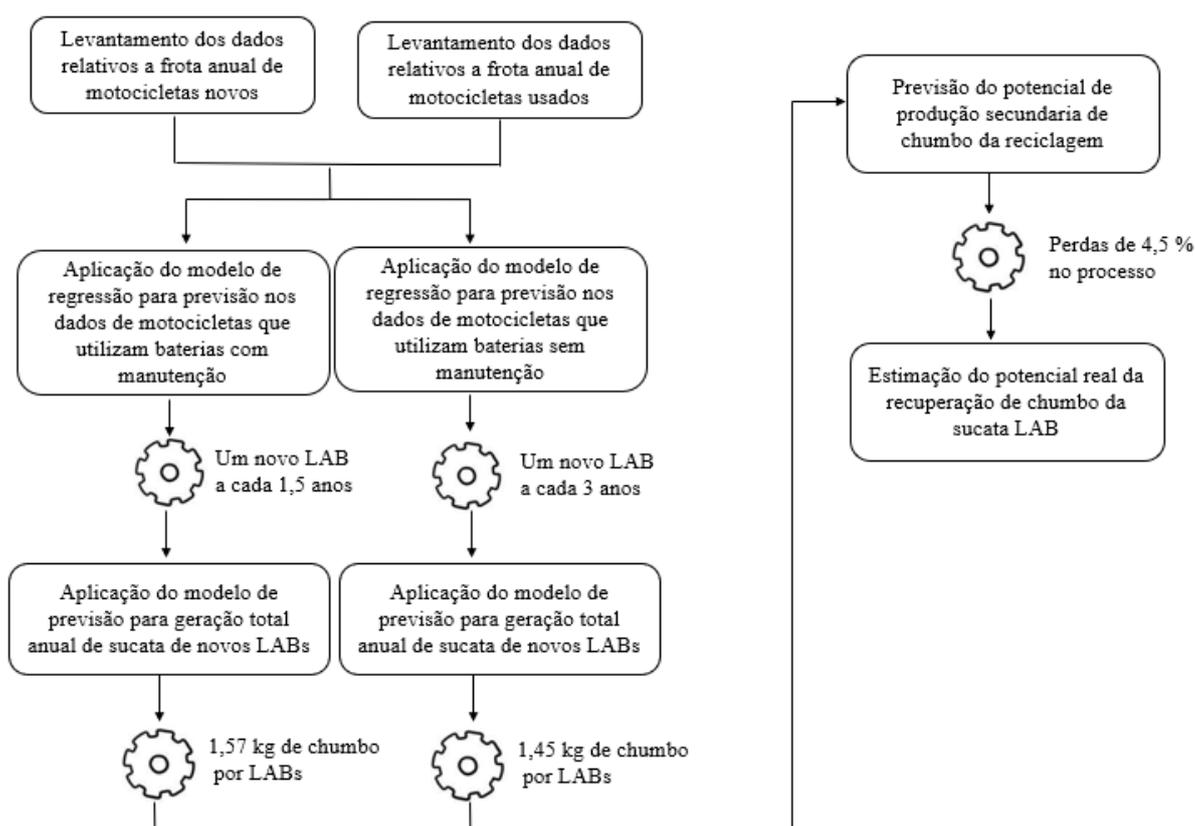
Portanto, direcionar esforços para previsão de baterias de motos, torna-se essencial para elaboração de ações estratégicas que deem suporte ao gerenciamento condizente de resíduos no Brasil. Logo, previsões desta magnitude, são essenciais para preparar os processos, inserir sustentabilidade nos produtos e investimento de pesquisas nesta área, uma vez que, a partir do levantamento feito neste trabalho, não foi identificado nenhuma pesquisa aplicado a modelos de previsão de baterias de automóveis no Brasil.

4 METODOLOGIA

Nesta referida pesquisa o uso adequado das teorias e métodos utilizados para a busca de responder os objetivos, a coleta de dados e tratamento dos materiais, teve o embasamento das teorias principais apresentadas nos estudos da seção II e também outros estudos, trazendo as especificidades desta seção.

Para melhor compreensão da metodologia, realizou-se um fluxograma das etapas realizadas do referido estudo, descritas detalhadamente no Fluxograma 3.

Fluxograma 3 – Procedimento metodológico



Fonte: A Autora (2021)

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE MOTOCICLETAS NOVAS E USADAS E DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL

A entidade Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) é responsável por 52 associações de marcas de fabricação de automóveis compostas por comerciais leves, caminhões, ônibus, implementos rodoviários, motocicletas, tratores e máquinas agrícolas, com instalações industriais e produção no país. Dentre de suas

principais atividades estão o estudo do mercado voltados a indústria de autoveículos e coleta e divulgação de dados do setor.

Diante disto, a partir dos dados divulgados pela FENABRAVE sobre a quantidades de motocicletas licenciadas no Brasil, construiu-se um banco de dados com os valores mês a mês nos últimos 17 anos (Jan/2004 a Dez/2020). Dessa maneira, foi possível aplicar um modelo de previsão para um levantamento indireto e aproximado da quantidade de motocicletas no período de 10 anos (Jan/2021 a Dez/2030) e também se levantou a quantidade de sucatas de baterias existente em fim de vida útil.

A FENABRAVE divulga todos os anos as idades médias dos autoveículos por região e nacionalmente, sendo assim, conforme FENABRAVE (2019), a frota de motocicletas cresceu 3,8% da idade média em 2019 com relação ao anterior, com isso tendo atualmente uma duração de vida útil de 11 anos.

4.2 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE UMA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

No Brasil existem dois tipos de baterias de chumbo-ácido de motocicletas, a do tipo A que exige realizar manutenção periodicamente e a do tipo B que não precisa de manutenção. Sabendo-se dessa informação, realizou-se uma pesquisa em vários sites e documentos para o levantamento de idade média desses tipos de baterias.

As fabricantes de baterias do país apontam que as mesmas duram mais de 3 anos, sem especificar quais os tipos se encaixam nessa descrição. Além disso, a Auto esporte (2012), relata que as baterias de moto duram em média três anos, falando especificamente das seladas, ou livres de manutenção, que são as utilizadas pelas maiorias das motos atualmente. Nas baterias convencionais, destinadas principalmente para motos mais antigas, a durabilidade cai para 1 ano e meio. Já para Caldeira (2020), a bateria original deve durar entre três ou quatro anos, porém isso depende do uso da motocicleta.

Sendo assim, pela falta de dados empíricos confiáveis e sabendo-se dos estudos supracitados, e com um intuito de determinar um modelo mais abrangente, foi acordado por este trabalho que a vida útil das baterias do tipo A será de 1,5 anos e a do tipo B será de 3 anos.

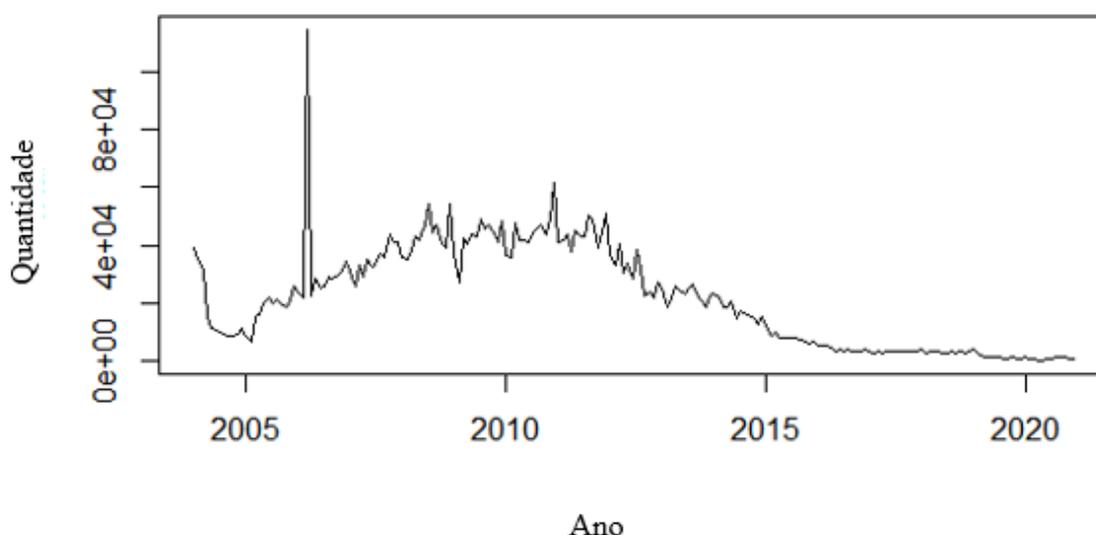
4.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO PARA PREVISÃO

Na busca de encontrar qual modelo de série temporal seria melhor adequado aos dados adquiridos, foi aplicado o modelo ARIMA, proposto por Box e Jenkins, que está alicerçado,

essencialmente, no desenvolvimento de funções baseadas em um ciclo iterativo, que faz uso dos próprios dados fornecidos pela a série temporal, para obter uma estrutura matemática de previsão (BOX *et al.*, 2015). Dessa forma, foi utilizado as bibliotecas *forecast*, *librdate*, *tidyverse* e *lmtest* do programa *Rstudio* para encontrar o modelo que melhor se adequasse aos dados da série.

Sendo assim, foram transformados os dados de motocicletas que utilizam baterias com manutenção em uma série temporal, considerando o intervalo de (Jan/2004 a Dez/2020). Além disso, os dados referentes a quantidade de motocicletas do modelo NXR 160 Bros não foram considerados nesta amostra por não serem mais fabricados desde 2019 e logo não teria sentido de realizar as previsões dos mesmos.

Gráfico 7 – Série temporal original (com outliers)



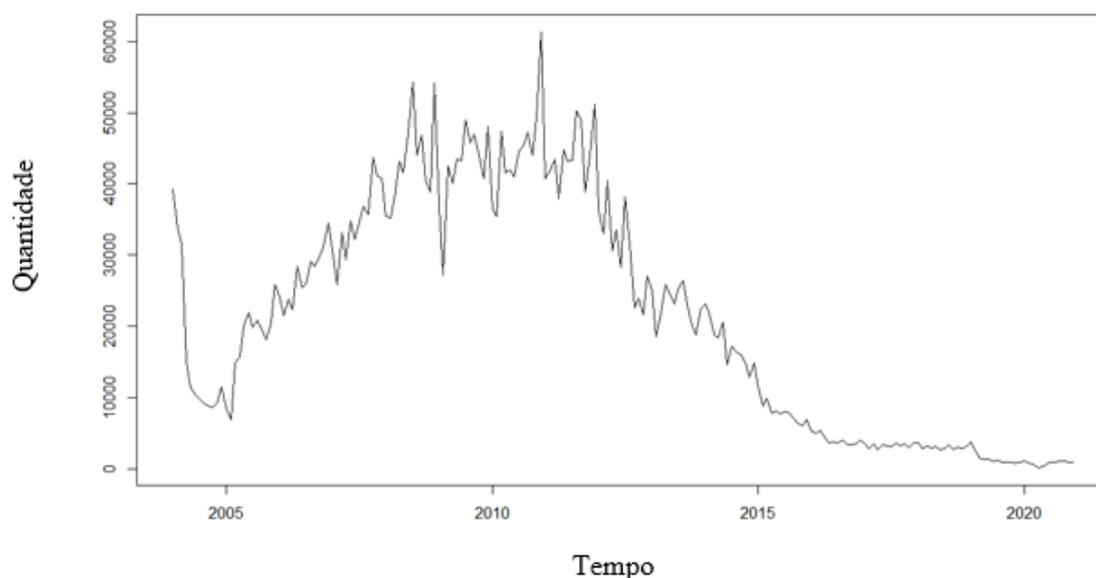
Fonte: A Autora (2021)

O Gráfico 7 demonstra alguns outliers que podem causar anomalias nos resultados das previsões. A existência dos outliers pode vir da interferência do mercado com inserções de novos impostos e flutuações nas vendas. O pico elevado de crescimento e decréscimo visualizado no início dos dados advém de um erro de digitação acima da dimensão da divulgação dos dados de motocicleta, tendo um outliers acima de 10 mil em um mês específico, já as outras variações resultam da crise financeira mundial de 2008, onde a produção e venda de automóveis foi severamente prejudicada, com uma retração de 6,8% do PIB global, sendo esta, a pior marca registrada desde 1982 (BARROS; PEDRO, 2011).

No Brasil, no entanto, o impacto da crise foi mais evidente no último trimestre de 2008, especialmente nos dois últimos meses do ano, com quedas de 23,4% e 19,7%, respectivamente,

no volume de vendas em relação ao mesmo período de 2007 (BARROS; PEDRO, 2011). Em relação a venda de motocicleta a queda foi em torno de 20% em 2008, tendo uma retração em 2009 em 6,9% (FENABRAVE, 2008). Dessa maneira, foi realizada uma limpeza dos outliers, pois estes estavam causando a não normalidade nos dados, com isso, o novo Gráfico 8 pode ser visualizado.

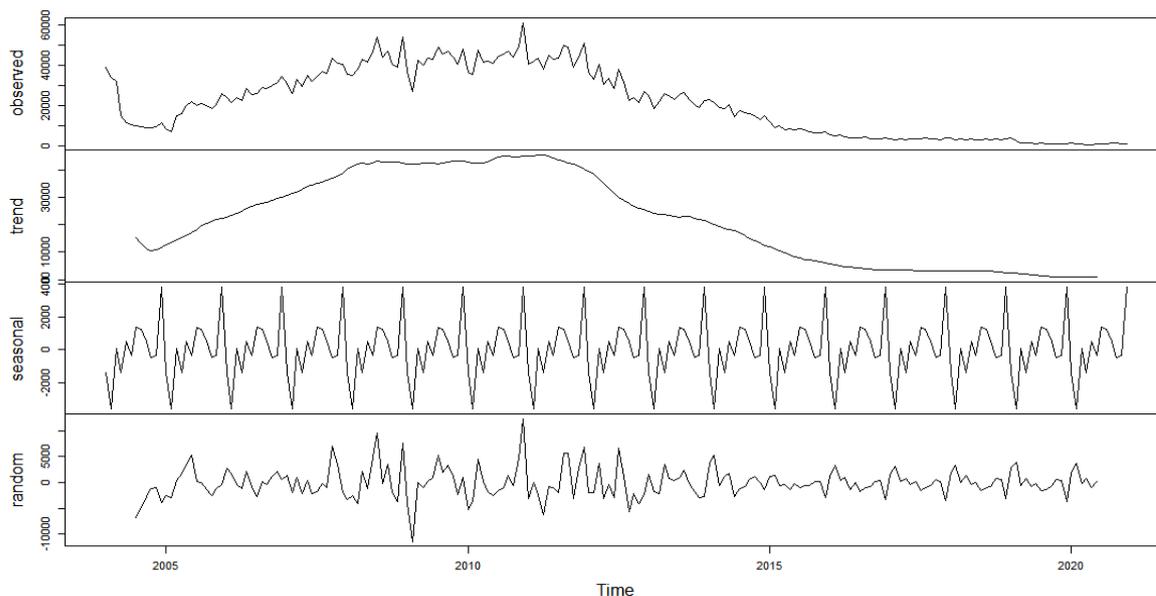
Gráfico 8 - Série temporal original (sem outliers)



Fonte: A Autora (2021)

Para melhor visualização do comportamento dos dados, o gráfico está representado com períodos em anos, porém a coleta foi realizada de mês em mês para se ter uma amostragem representativa, e conseqüentemente, os resultados da previsão sejam mais próximos da realidade. A decomposição da série temporal original com os gráficos dos parâmetros é ilustrada a seguir no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Decomposição da série temporal original



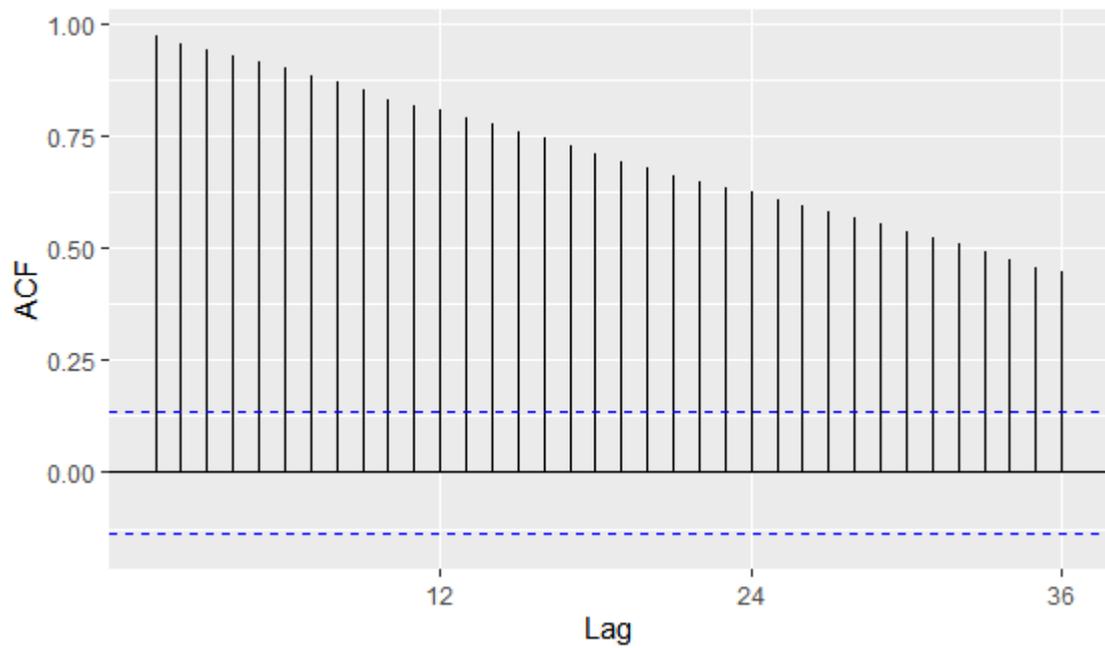
Fonte: A Autora (2021)

Como pode ser visto, há uma tendência de decréscimo no número de motocicletas circulantes no país e uma sazonalidade de picos e vales no decorrer dos anos. Essas variações podem ser das flutuações das vendas e dos impostos inseridos em alguns períodos do ano. Esse decréscimo da quantidade de motos nos últimos anos advém de apenas uma representante de fabricação de baterias estar produzindo modelos do tipo A, tendo uma substituição para o modelo do tipo B, e conseqüentemente, uma diminuição da demanda de motos dos modelos que utilizam baterias do tipo A.

Além disso, o comportamento dos dados da série apresenta uma influência de aleatoriedade, caracterizada por movimentos ascendentes e descendentes, por causa de fatores externos ou pelo acaso, ocasionando uma instabilidade. Por conseqüência disso pode ser um indicativo de não estacionariedade na série, tendo que aplicar diferenciações para tornar a série estacionária.

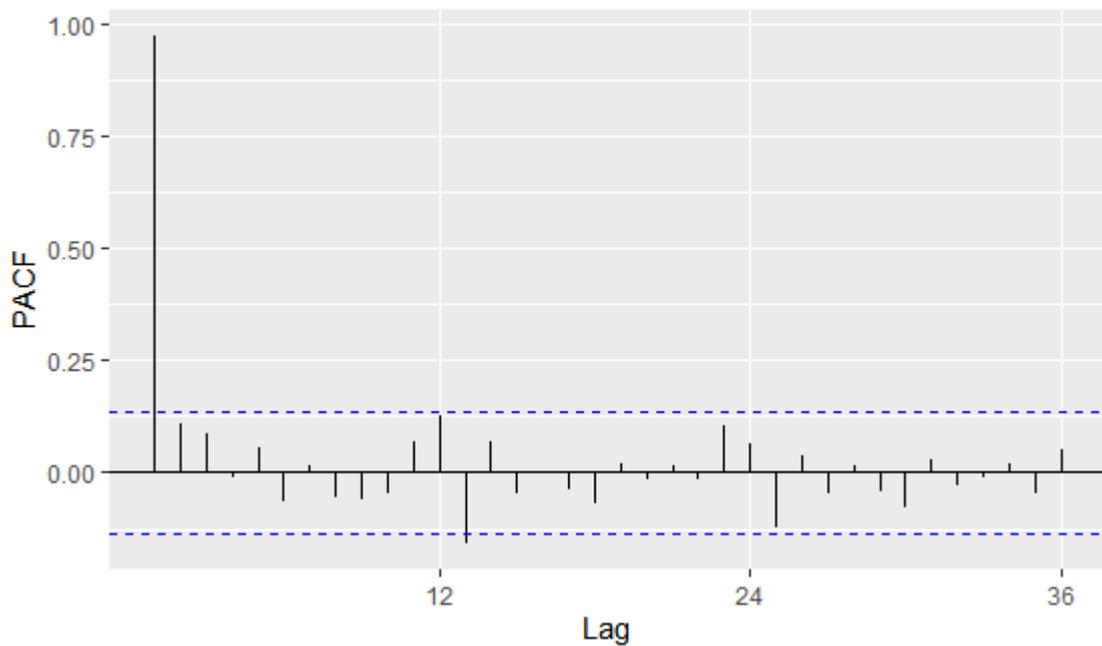
Em seguida foi realizado a análise de autocorrelação e autocorrelação parcial nos dados sem aplicação de diferenciações, como pode ser visualizado nas Figuras 2 e 3, no qual a função de autocorrelação é uma medida da correlação entre as observações de uma série temporal que são separadas por k unidades de tempos, após o ajuste para a presença de todos os outros termos de menor *lag*.

Figura 2 - Autocorrelação geral



Fonte: A Autora (2021)

Figura 3 - Autocorrelação parcial



Fonte: A Autora (2021)

De acordo com a Figura 2 os resíduos são correlacionados, uma vez que os lags ultrapassam o nível de significância de 5% entre as linhas azuis tracejadas. Já na Figura 3 existe correlações significativas no primeiro *lag*, seguidas por correlações não significativas, ou seja,

este padrão indica um termo autorregressivo de ordem 1 (AR(1)) e também pode ser inferido que a probabilidade de o processo ser estacionário é baixa.

A posteriori foi realizado o teste de Dickey-Fuller Aumentado para observação de estacionariedade da série, no qual tem como objetivo verificar se um modelo autorregressivo tem ou não raiz unitária. Nos quais as hipóteses são:

H_0 = A não estacionariedade da serie

H_1 = A estacionariedade da serie

Na avaliação da estacionariedade será observado o p-valor do teste com o nível de significância de 5% para se obter o resultado do teste. Dessa forma, os valores podem ser contemplados da Figura 4.

Figura 4- Teste de Dickey-Fuller

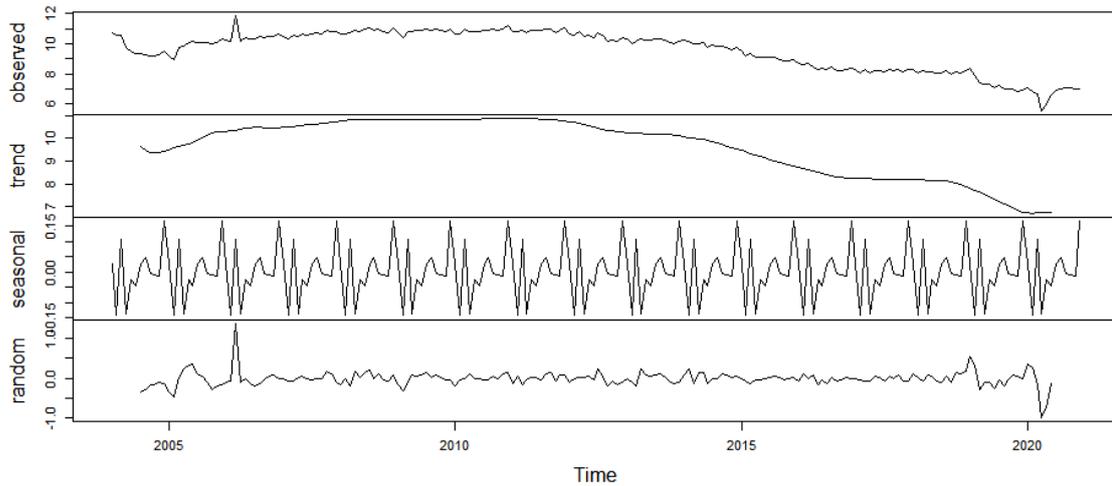
```
Augmented Dickey-Fuller Test
data: modelo$residuals
Dickey-Fuller = -7.0721, Lag order = 5, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

Fonte: A Autora (2021)

O teste de Dickey-Fuller aplicado na série indicou o p-valor de 0.01, e assim a hipótese de não estacionariedade é rejeitada, ou seja, rejeitou a hipótese nula quando ela é verdadeira. Logo a série é estacionaria, tornando o modelo mais robusto.

Após o teste de Dickey-Fuller, foi aplicada a transformação Box Cox, formulado pelos estatísticos George E. P. Box e David Cox que tem como objetivo estabilizar a variância, tornar os dados em uma distribuição normal, melhorar a validação das medidas de associação e estabilizar os dados. Sendo assim, as diferenças nos comportamentos da série temporal com a transformação são visíveis pela linha dos parâmetros observados no Gráfico 10 estar mais constante e com poucas dispersões dos dados.

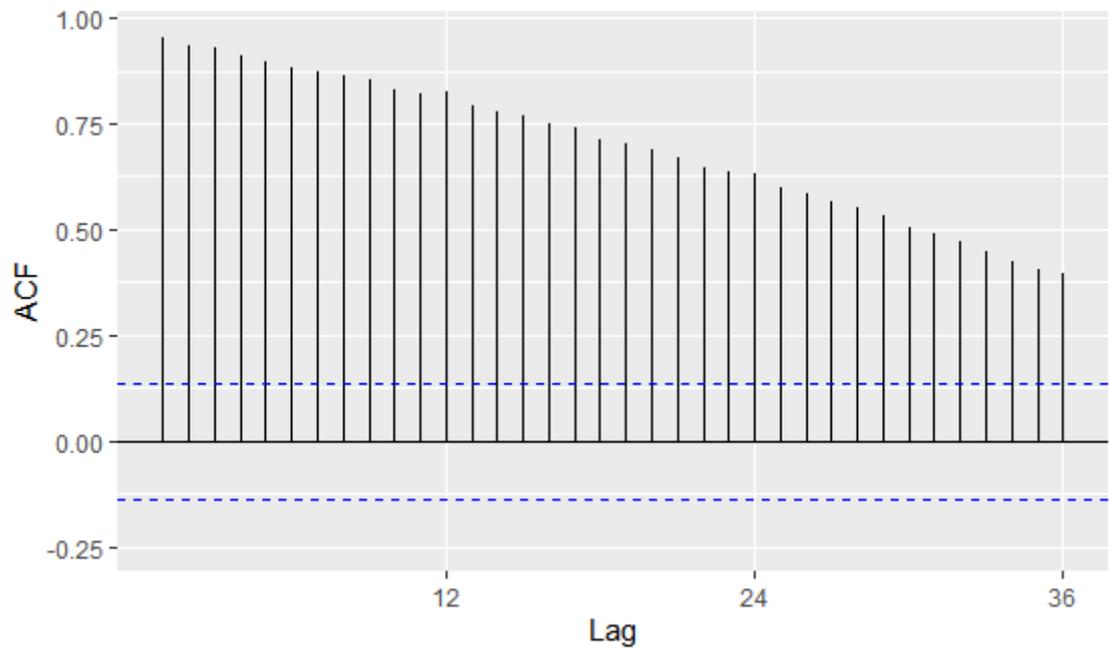
Gráfico 10 - Decomposição da série temporal após a aplicação do Box Cox.



Fonte: A Autora (2021)

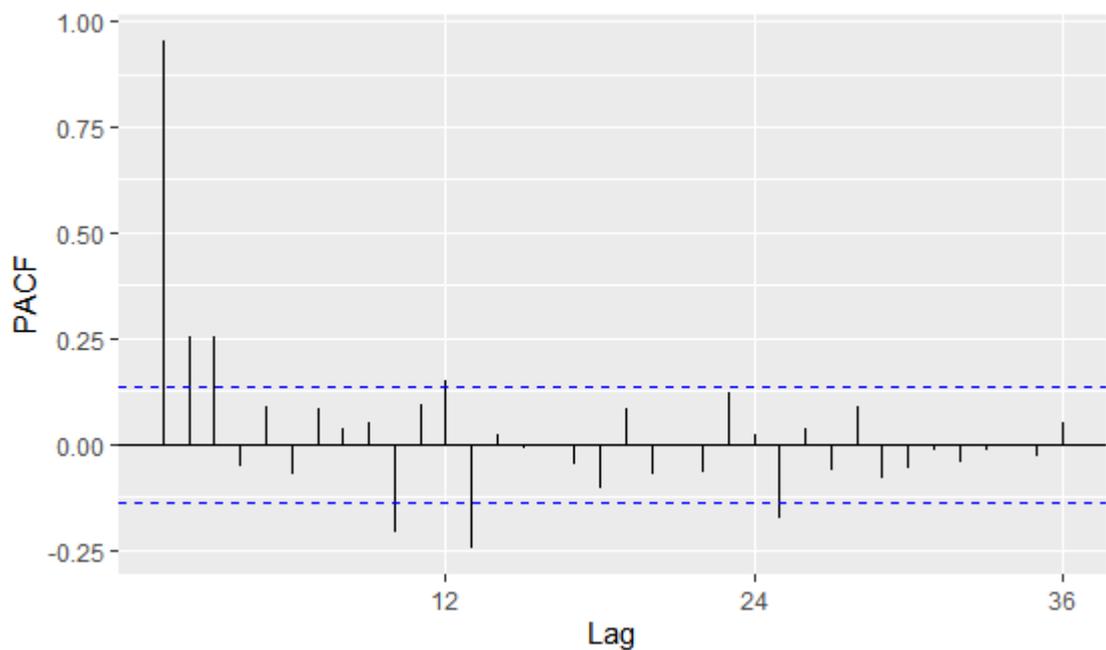
Logo após o teste de Box Cox executou-se as diferenciações nos dados para em seguida obter a análise de autocorrelação e autocorrelação parcial visualizadas nas Figuras 5 e 6. Na Figura 5 pode ser observado que ainda há um decaimento exponencialmente dos dados e também os lags estão ultrapassando as linhas azuis tracejadas, resultando em resíduos correlacionados. Já na Figura 6 existe correlações significativas no primeiro, segundo e terceiro lag, seguidas por correlações não significativas, ou seja, este padrão indica um termo autorregressivo de ordem 3 (AR(3)).

Figura 5 - Autocorrelação geral (após as diferenciações)



Fonte: A Autora (2021)

Figura 6 - Autocorrelação parcial (após as diferenciações)



Fonte: A Autora (2021)

Posteriormente, aplicou-se o comando `auto.arima` para identificar qual modelo ARIMA melhor se adequa aos dados da série temporal, a partir disto foi retornado o modelo SARIMA $(3,1,0) (2,0,0)$ ¹² como melhor modelo que representa o conjunto de dados e reafirmando a

análise da autocorrelação parcial com a autorregressão de 3 ordem, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Parâmetros do modelo

```
Series: ts
ARIMA(3,1,0)(2,0,0)[12]
Box Cox transformation: lambda= 0.2225974

Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      sar1      sar2
    -0.0570 -0.0839  0.2318  0.2477  0.3267
s.e.   0.0699   0.0700  0.0752  0.0752  0.0818

sigma^2 estimated as 1.881:  log likelihood=-351.97
AIC=715.94  AICC=716.37  BIC=735.82
```

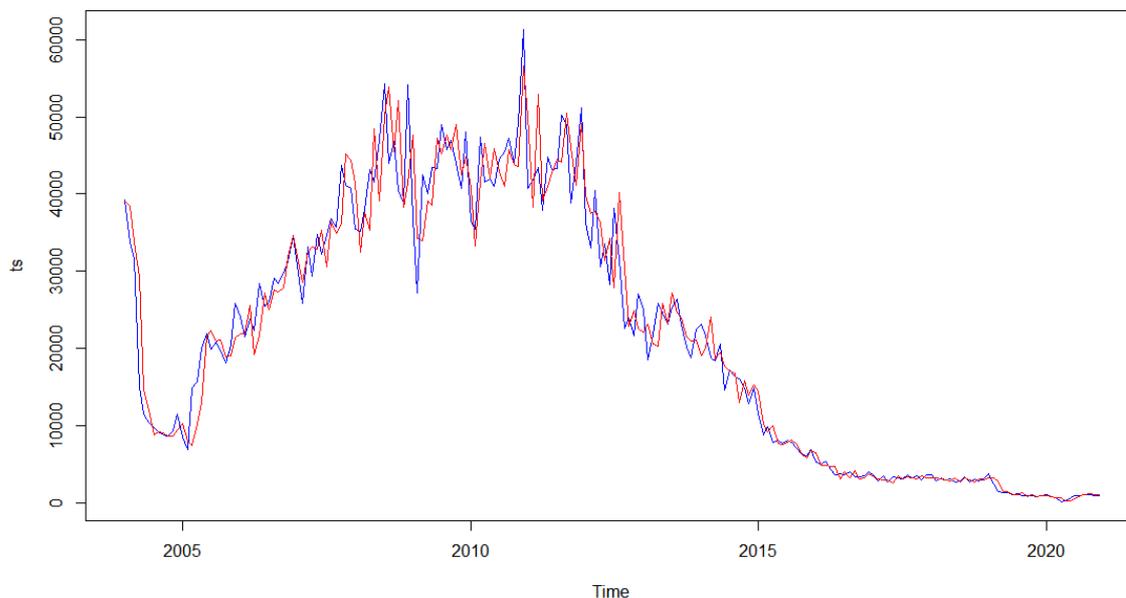
Fonte: A Autora (2021)

O primeiro conjunto dos parâmetros do modelo indica uma autorregressão de terceira ordem ($p=3$), uma diferenciação ($d=1$), e uma média móvel de zero ordem ($q=0$). No segundo conjunto dos parâmetros do modelo o que se refere ao desenvolvimento para a parte sazonal indica somente uma autorregressão de segunda ordem ($p=2$). O índice $m=12$ significa a quantidade de período por temporada, ou seja, a série se comporta igualmente entre os meses ao longo dos anos.

Além do mais, há uma diferença entre o AIC e o BIC, o primeiro busca aproximar os modelos da realidade da situação, já o segundo procura o melhor ajuste do modelo, pois esta realiza uma maior penalidade imposta pelo número de parâmetros em relação ao AIC.

Uma vez estimados os parâmetros do melhor modelo, realizou-se o ajuste do ARIMA com propósito de prever futuramente a quantidade de novas motocicletas circulantes no intervalo de 10 anos (Jan/2021 a Dez/2030). O ajuste do modelo pode ser visualizado no Gráfico 11, no qual a previsão fornece valores muitos próximos do real.

Gráfico 11 - Comparação dos dados da série temporal com os resíduos ajustado do ARIMA

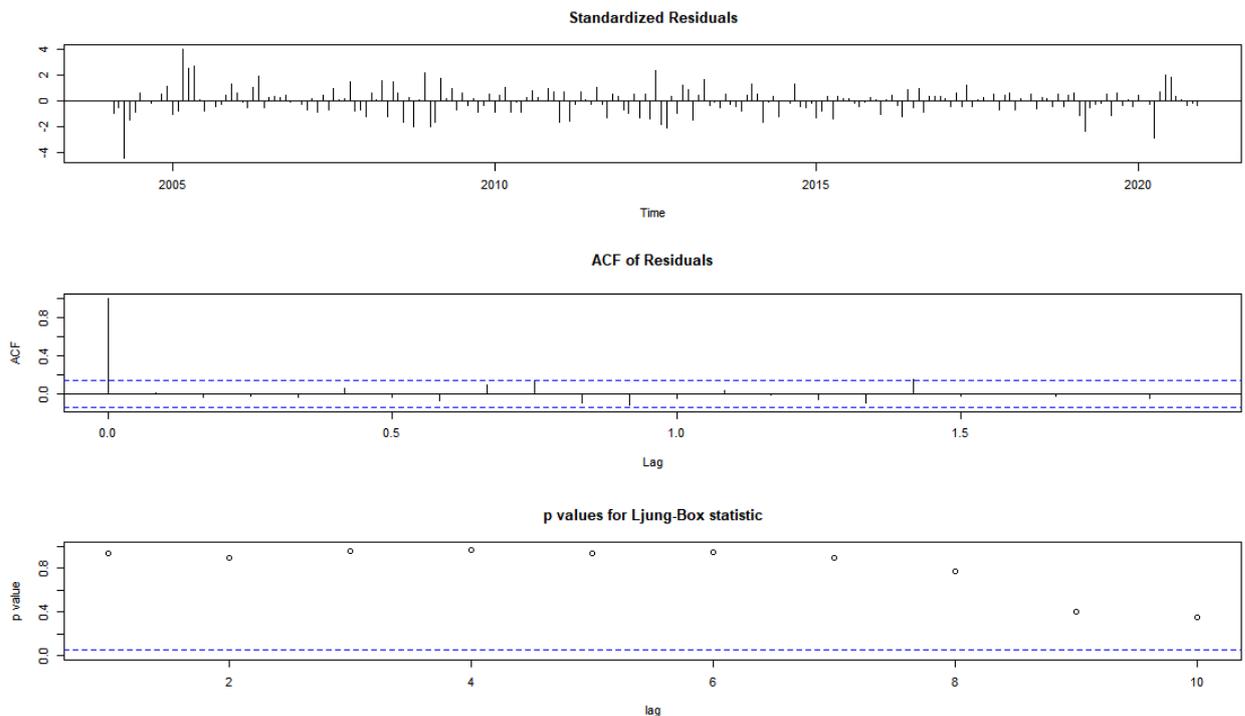


Fonte: A Autora (2021)

Em seguida é necessário realizar a análise dos resíduos para averiguar se o modelo capturou toda a estrutura do processo do conjunto dos dados e que os resíduos estimados sejam considerados ruídos brancos para validação do modelo. Assim sendo, para se chegar a esses resultados o modelo não pode apresentar nenhum padrão bem definido que indique uma autocorrelação e os resíduos sejam normalmente distribuídos. Ao contrário, os resíduos terão uma estrutura de dependência e o modelo será rejeitado por ser insuficiente ao realizar inferência acerca da população.

A vista disso, na Figura 8 os resíduos estão padronizados dentro do limite de quatro desvios, variando em torno da média 0, no qual resulta em uma estacionariedade e constância dos resíduos estimados pelo modelo. No correlograma, os resíduos não contêm um padrão específico, ou seja, são correlacionados demonstrando uma estacionariedade, com média zero e variância constante, portanto, se comportando como um ruído branco.

Figura 8 - Análise dos resíduos



Fonte: A Autora (2021)

Dessa maneira, o teste de Ljung-Box vem para corroborar com as afirmativas descritas anteriormente, onde as hipóteses são:

H_0 = os resíduos são independentes e identicamente distribuídos

H_1 = os resíduos não são independentes e identicamente distribuídos

Na avaliação da aceitação ou rejeição da hipótese nula foram observados os p-valores, identificando que os mesmos são maiores do que o valor de significância de $\alpha=5\%$, estando na região de aceitação, com isso, não há evidências para se rejeitar a hipótese nula, tendo como resíduos independentes e cientificamente distribuídos.

Outro indicativo a ser aplicado para verificação de uma boa adequação do modelo é o teste de Kolmogorov – Smirnov o qual observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados (teórica), por exemplo, a Normal, e a função de distribuição empírica dos dados e comparamos esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância (SILVA, 2013).

O teste de Kolmogorov – Smirnov é utilizado para avaliar as seguintes hipóteses:

H_0 = os dados seguem uma distribuição normal

H_1 = os dados não seguem uma distribuição normal

Para avaliação do teste, faz-se uma comparação desta diferença com um valor crítico D_n tabelado com um nível de significância de $\alpha = 5\%$. Se $D > D_n$, rejeita-se a hipótese nula de que os dados são normalmente distribuídos, caso contrário, não-rejeita a hipótese nula e os dados seguem uma distribuição normal. Sendo assim, os dados do resultado do teste de Kolmogorov – Smirnov podem ser observados na Figura 9.

Figura 9 - Parâmetros do teste de Kolmogorov-smirnov

```

One-sample kolmogorov-smirnov test
data: modelo$residuals
D = 0.089245, p-value = 0.07758
alternative hypothesis: two-sided

```

Fonte: A Autora (2021)

Sabendo que o $D_n = 0,097143$ e o teste tem valor de $D = 0,089245$, logo não se rejeita a hipótese nula de que os dados são normalmente distribuídos. Também pode ser reforçado pelo p-valor de 0,07758, cuja o valor é maior do que nível de significância de 5%.

Em diante, obteve-se o teste de acurácia para validação do modelo, como exposto na Figura 10.

Figura 10 - Teste de acurácia do modelo

```

> accuracy(modelo)
      ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set -124.7812 3596.578 2293.033 -2.163712 12.769 0.3843871 -0.1678347

```

Fonte: A Autora (2021)

As medidas de escala Erro Médio (ME), Erro Médio Quadrático (RMSE), Erro Médio Absoluto (MAE), e as medidas baseadas em erros percentuais, o Erro Médio Percentual (MPE) e o Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE) evidenciadas na Figura 11, demonstram valores razoáveis de acordo com as características da amostra. Já o Erro Médio Absoluto Escalonado (MASE), apresentou um valor de 0,3843871 sendo inferior a 1, ou seja, consolidando que o modelo de previsão retornou erros menores que um modelo ingênuo. O Coeficiente de Autocorrelação Parcial de Primeira Ordem (ACF1), foi muito pequeno de 0,1678347 resultando em um comportamento não aleatório do erro de previsão.

Conforme os resultados adquiridos pode-se concluir que o modelo SARIMA (3,1,0) (2,0,0)¹², foi o mais eficiente e o melhor modelo que se adequa ao padrão da série que representa as motocicletas que utilizam baterias com manutenção no Brasil. As mesmas etapas do processo de geração do modelo foram aplicadas aos dados de motocicletas que utilizam baterias sem manutenção.

4.4 LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE DE CHUMBO SECUNDÁRIO POR BATERIAS E PERDA NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO.

Com o intuito de estimar a quantidade de chumbo por bateria que serão gerados pelo modelo desenvolvido, foram realizadas algumas análises e pesquisas nos sites das representantes de fabricação de baterias na busca pelos catálogos com todas as especificações e estruturas de baterias de motocicletas. Com isso, dada a relação de 150 g de chumbo por cada Ah (PAVLOV, 2011), e considerando as especificações técnicas dos modelos das baterias com média de 10,45 Ah do tipo A e em média 9,66 Ah do tipo B calculou-se a quantidade de chumbo por bateria, logo, a bateria do tipo A possui em média 1,57 kg de chumbo para cada 2,7 kg de peso, já as baterias do tipo B tem em média 1,45 kg de chumbo para cada 2,5kg de peso.

Em relação a perda no processo de extração do chumbo, segundo Santos (2019), a extração de chumbo tem uma perda em média de 4,5% no processo de recuperação da marca líder em vendas no país.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APLICAÇÃO DO MODELO AO CENÁRIO BRASILEIRO

Os dados relativos à frota anual de motocicletas de Jan/2004 a Dez/2020 foram coletados do site da FENABRAVE. Os valores da frota anual de motocicletas e os valores da previsão em itálico é apresentado na Tabela 1. Nos Gráficos 12 e 13 são ilustrados o comportamento das previsões ao longo do tempo em relação as motocicletas que utilizam baterias dos tipos A e B.

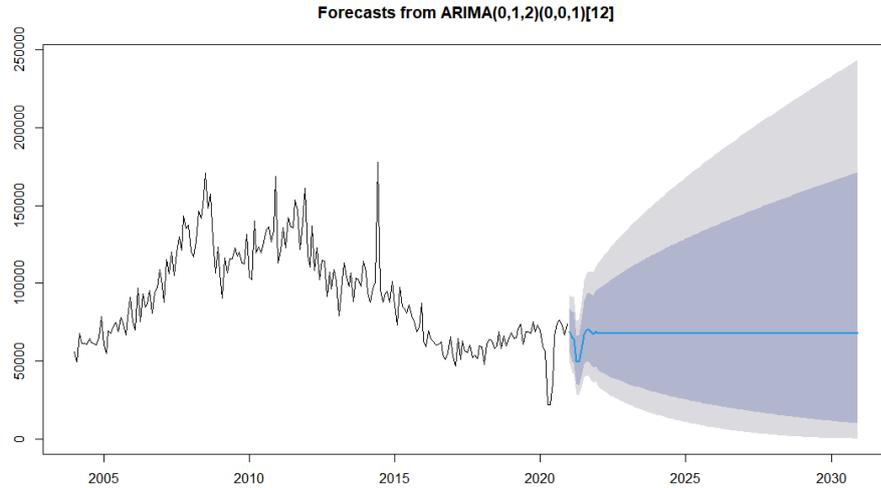
Tabela 1 - Quantidade anual de motocicletas

ANO	QUANTIDADE DE MOTOCICLETAS POR ANO	
	Utilizam baterias com manutenção	Utilizam baterias sem manutenção
2004	215.849	747.305
2005	238.305	854.789
2006	500.311	1.055.775
2007	615.428	1.420.185
2008	630.555	1.635.576
2009	634.175	1.370.078
2010	719.285	1.534.694
2011	729.871	1.629.451
2012	560.075	1.330.574
2013	448.606	1.203.996
2014	375.852	1.224.084
2015	102.432	973.277
2016	51.642	726.440
2017	40.691	665.935
2018	38.067	730.542
2019	18.481	826.476
2020	10.304	696.424
2021	<i>8.114</i>	<i>1.105.431</i>
2022	<i>6.258</i>	<i>1.069.793</i>
2023	<i>5.424</i>	<i>1.067.833</i>
2024	<i>4.784</i>	<i>1.068.120</i>
2025	<i>4.420</i>	<i>1.068.120</i>
2026	<i>4.153</i>	<i>1.068.120</i>
2027	<i>3.982</i>	<i>1.068.120</i>
2028	<i>3.860</i>	<i>1.068.120</i>
2029	<i>3.775</i>	<i>1.068.120</i>
2030	<i>3.720</i>	<i>1.068.120</i>

Fonte: A Autora (2021)

Gráfico 12 - Comportamento da previsão da frota anual de motocicletas que utilizam baterias do tipo

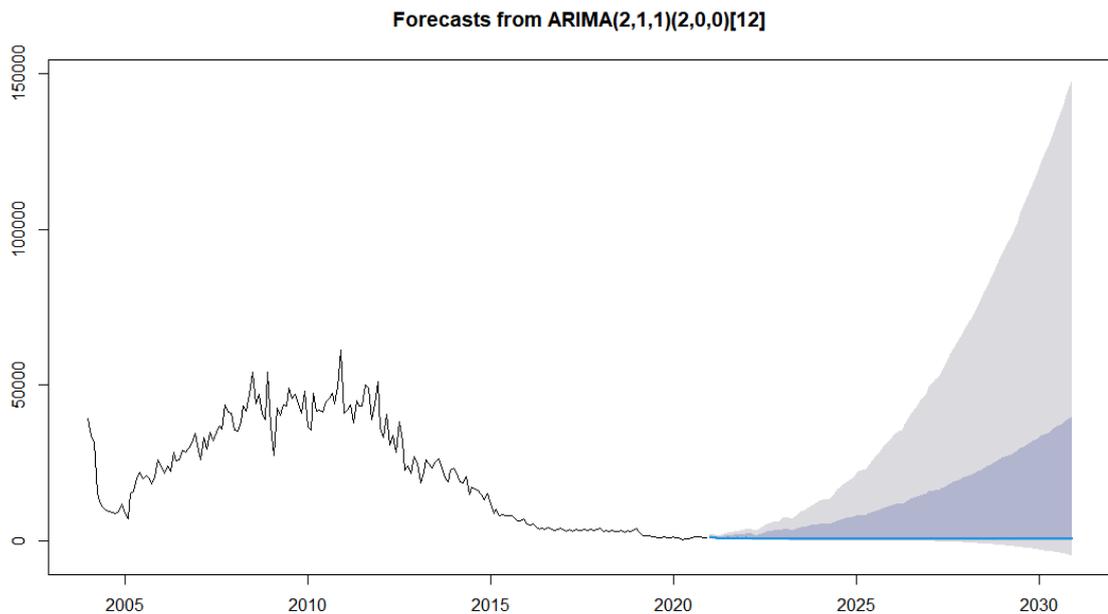
B



Fonte: A Autora (2021)

Gráfico 13 - Comportamento da previsão da frota anual de motocicletas que utilizam baterias do tipo

A



Fonte: A Autora (2021)

Na Tabela 1 foram inseridos os dados de um modelo específico de motocicletas que utilizam baterias do tipo A no período de Jan/2004 a Dez/2019 retirados na seção 3.3 deste trabalho. Ainda na mesma tabela apresenta-se os valores da previsão em *itálico* para um período de 10 anos no Brasil (Jan/2021 a Dez/2030). Vale ressaltar que os dados mostrados na Tabela 1 com valores anuais são por uma questão de simplicidade, já que o método do SARIMA é

aplicado aos dados mensais, porque as séries de vendas de motocicletas apresentam uma sazonalidade nos meses dos anos e não ao longo dos anos.

Os comportamentos estacionários e lineares das previsões dos Gráficos 12 e 13 advém de o modelo aplicado forçar a uma estacionariedade e uma tendencia de extrapolação do intervalo de previsão, inclinando-se para valores em torno dos anos mais próximos. Esse efeito pode ser observado na Tabela 1 nas previsões em relação as baterias que não utilizam manutenção, onde a partir de 2024 os valores começam a repetir tendo uma dificuldade de diferenciação nos números.

5.1.1 Previsão da geração de sucatas de baterias

5.1.1.1 Baterias tipo A e tipo B

O referido trabalho assume que as baterias do tipo A tem uma vida útil de 1,5 anos e que uma motocicleta tem uma vida útil de 11 anos, assim o estudo foi realizado substituindo as baterias em motocicletas de 1,5 anos, 3 anos, 4,5 anos, 6 anos, 7,5 anos, 9 anos, e 10,5 anos. Por exemplo, na primeira linha da coluna dois da Quadro 3 foram vendidas 312.139 motocicletas/baterias novas em 2004, posteriormente tendo uma troca de baterias em 1,5 anos, 3 anos, 4,5 anos, 6 anos, 7,5 anos, 9 anos, e 10,5 anos chegando no máximo a 11 anos de vida útil de uma motocicleta e tendo 312.139 de baterias novas nos respectivos anos. O mesmo esquema é repetido para os demais valores.

Após o levantamento das estimativas, efetuou-se o somatório das baterias novas (coluna dez) dos anos que teve troca da mesma, dessa forma, com esses resultados foi possível saber a quantidade de sucatas geradas. Sabendo que após o intervalo de 1,5 anos haverá sucata das baterias descartadas, a Quadro 3 (coluna treze) demonstra o valor da quantidade de sucatas descartadas no período de 2021 a 2030.

Quadro 3 - Previsão de sucatas de baterias tipo A

TEMPO	0 ANOS	1,5 ANOS	3 anos	4,5 anos	6 anos	7,5 anos	9 anos	10,5 anos		
ANO	BATERIAS NOVAS / MOTOCICLETAS NOVAS	BATERIAS NOVAS TROCADAS	TOTAL DE BATERIAS NOVAS	SUCATAS						
Jan/2004 - Jun/2005	312.139								312.139	
Jul/2005 - Dez/2006	642.326	312.139							954.465	
Jan/2007 - Jun/2008	915.934	642.326	312.139						1.870.399	
Jul/2008 - Dez/2009	964.224	915.934	642.326	312.139					2.834.623	
Jan/2010 - Jun/2011	1.070.102	964.224	915.934	642.326	312.139				3.904.725	
Jul/2011 - Dez/2012	939.129	1.070.102	964.224	915.934	642.326	312.139			4.843.854	
Jan/2013 - Jun/2014	647.836	939.129	1.070.102	964.224	915.934	642.326	312.139		5.491.690	
Jul/2014 - Dez/2015	279.054	647.836	939.129	1.070.102	964.224	915.934	642.326	312.139	5.770.744	
Jan/2016- Jun/2017	71.508	279.054	647.836	939.129	1.070.102	964.224	915.934	642.326	5.530.113	
Jul/2017 - Dez/2018	58.892	71.508	279.054	647.836	939.129	1.070.102	964.224	915.934	4.946.679	
Jan/2019 - Jun/2020	22.510	58.892	71.508	279.054	647.836	939.129	1.070.102	964.224	4.053.255	
Jul/2020 - Dez/2021	14.389	22.510	58.892	71.508	279.054	647.836	939.129	1.070.102	3.103.420	4.053.255
Jan/2022 - Jun/2023	8.969	14.389	22.510	58.892	71.508	279.054	647.836	939.129	2.042.287	3.103.420
Jul/2023 - Dez/ 2024	7.497	8.969	14.389	22.510	58.892	71.508	279.054	647.836	1.110.655	2.042.287
Jan/2025 - Jun/2026	6.472	7.497	8.969	14.389	22.510	58.892	71.508	279.054	469.291	1.110.655
Jul/2026 - Dez/2027	6.083	6.472	7.497	8.969	14.389	22.510	58.892	71.508	196.320	469.291
Jan/2028 - Jun/2029	5.740	6.083	6.472	7.497	8.969	14.389	22.510	58.892	130.552	196.320
Jul/2029 - Dez/2030	5.615	5.740	6.083	6.472	7.497	8.969	14.389	22.510	77.275	130.552

Fonte: A Autora (2021)

O processo realizado da análise do levantamento da previsão de geração de sucatas de baterias tipo A, também foi aplicado para estimar a quantidade de sucatas de baterias tipo B, diferenciando-se na vida útil da bateria com duração de 3 anos. O Quadro 4 (coluna sete) exhibe os valores das quantidades de sucatas no período de 2021 a 2030.

Quadro 4 - Previsão de sucata de bateria de tipo B

TEMPO	0 ANOS	3 ANOS	6 ANOS	9 ANOS		
ANO	BATERIAS NOVAS / MOTOCICLETAS NOVAS	TOTAL DE BATERIAS NOVAS	SUCATA			
2004	747.305				747.305	
2005	854.789				854.789	
2006	1.055.775				1.055.775	
2007	1.420.185	747.305			2.167.490	
2008	1.635.576	854.789			2.490.365	
2009	1.370.078	1.055.775			2.425.853	
2010	1.534.694	1.420.185	747.305		3.702.184	
2011	1.629.451	1.635.576	854.789		4.119.816	
2012	1.330.574	1.370.078	1.055.775		3.756.427	
2013	1.203.996	1.534.694	1.420.185	747.305	4.906.180	
2014	1.224.084	1.629.451	1.635.576	854.789	5.343.900	
2015	973.277	1.330.574	1.370.078	1.055.775	4.729.704	
2016	726.440	1.203.996	1.534.694	1.420.185	5.632.620	
2017	665.935	1.224.084	1.629.451	1.635.576	6.009.835	
2018	730.542	973.277	1.330.574	1.370.078	5.460.246	
2019	826.476	726.440	1.203.996	1.534.694	5.711.791	
2020	696.424	665.935	1.224.084	1.629.451	5.851.470	
2021	1.105.431	730.542	973.277	1.330.574	5.509.902	5.460.246
2022	1.069.793	826.476	726.440	1.203.996	5.361.399	5.711.791
2023	1.067.833	696.424	665.935	1.224.084	5.283.727	5.851.470
2024	1.068.120	1.105.431	730.542	973.277	5.207.944	5.509.902
2025	1.068.120	1.069.793	826.476	726.440	4.894.825	5.361.399
2026	1.068.120	1.067.833	696.424	665.935	4.722.396	5.283.727
2027	1.068.120	1.068.120	1.105.431	730.542	4.945.490	5.207.944
2028	1.068.120	1.068.120	1.069.793	826.476	4.758.949	4.894.825
2029	1.068.120	1.068.120	1.067.833	696.424	4.566.432	4.722.396
2030	1.068.120	1.068.120	1.068.120	1.105.431	5.040.333	4.945.490

Fonte: A Autora (2021)

5.1.2 Levantamento do potencial de geração da quantidade de chumbo por baterias

5.1.2.1 Baterias tipo A e tipo B

Os resultados adquiridos apresentados nos quadros 3 e 4 foram utilizados para determinar o potencial de recuperação secundário de chumbo, relatado nas Tabelas 2 e 3. Para encontrar o potencial da geração de secundário por bateria foi multiplicado por 1,45 de baterias do tipo A e por 1,57 baterias do tipo B, após essa etapa realizou-se a diminuição de 4,5% de perda de chumbo no processo para os dois tipos de baterias. O potencial anual total recuperado dos dois tipos de baterias é de 89.972.842,08 milhões de toneladas de chumbo de 2021 a 2030.

Tabela 2 - Previsão do potencial anual de recuperação de chumbo de baterias tipo A

Ano	Previsão de sucata de baterias de chumbo-ácido	Potencial de geração de chumbo por bateria (kg)	Potencial de recuperação de chumbo com perda de 4,5% (kg)
Jul/2020 - Dez/2021	4.053.255	6.363.610,35	6.077.247,88
Jan/2022 - Jun/2023	3.103.420	4.872.369,40	4.653.112,78
Jul/2023 - Dez/ 2024	2.042.287	3.206.390,59	3.062.103,01
Jan/2025 - Jun/2026	1.110.655	1.743.728,35	1.665.260,57
Jul/2026 - Dez/2027	469.291	736.786,87	703.631,46
Jan/2028 - Jun/2029	196.320	308.222,40	294.352,39
Jul/2029 - Dez/2030	130.552	204.966,64	195.743,14

Fonte: A Autora (2021)

Tabela 3 - Previsão do potencial anual de recuperação de chumbo de baterias tipo B

Ano	Previsão de sucata de baterias de chumbo-ácido	Potencial de geração de chumbo por bateria (kg)	Potencial de recuperação de chumbo com perda de 4,5% (kg)
2021	5.460.246	7.917.356,70	7.561.075,65
2022	5.711.791	8.282.096,95	7.909.402,59
2023	5.851.470	8.484.631,50	8.102.823,08
2024	5.509.902	7.989.357,90	7.629.836,79
2025	5.361.399	7.774.028,55	7.424.197,27
2026	5.283.727	7.661.404,15	7.316.640,96
2027	5.207.944	7.551.518,80	7.211.700,45
2028	4.894.825	7.097.496,25	6.778.108,92
2029	4.722.396	6.847.474,20	6.539.337,86
2030	4.945.490	7.170.960,50	6.848.267,28

Fonte: A Autora (2021)

5.1.3 Estimativa de perda de chumbo

De acordo com a taxa média de coleta de baterias destinadas as principais recicladoras das duas marcas líderes do país que é de 99% e a aplicação do modelo proposto, foi calculada a quantidade de perda no processo e outras perdas. Segundo Santos e outros (2019), outras

perdas podem incluir baterias usadas que são perdidas, armazenadas, descartadas ou recicladas de forma inadequada no Brasil. Essas outras perdas somam 1%.

Tabela 4 - Estimativas anuais de perda de chumbo de baterias tipo A

Ano	Perda no processo de 4,5 % (kg)	Outras perdas 1% (kg)	Total de perdas (kg)	Perdas de baterias usadas perdidas 1%
Jul/2020 – Dez/2021	286.362,47	104.168,65	390.531,12	40.533
Jan/2022 – Jun/2023	219.256,62	79.757,89	299.014,52	31.034
Jul/2023 – Dez/2024	144.287,58	52.486,78	196.774,35	20.423
Jan/2025 – Jun/2026	78.467,78	28.543,83	107.011,61	11.107
Jul/2026 – Dez/2027	33.155,41	12.060,78	45.216,19	4.693
Jan/2028 – Jun/2029	13.870,01	5.045,42	18.915,43	1.963
Jul/2029 – Dez/2030	9.223,50	3.355,19	12.578,69	1.306

Fonte: A Autora (2021)

Tabela 5 - Estimativas anuais de perda de chumbo de baterias tipo B

Ano	Perda no processo de 4,5% (kg)	Outras perdas 1% (kg)	Total de perdas (kg)	Perdas de baterias usadas perdidas 1%
2021	356.281,05	133.776,03	490.057,08	54.602,46
2022	372.694,36	139.938,88	512.633,24	57.117,91
2023	381.808,42	143.361,02	525.169,43	58.514,70
2024	359.521,11	134.992,60	494.513,70	55.099,02
2025	349.831,28	131.354,28	481.185,56	53.613,99
2026	344.763,19	129.451,31	474.214,50	52.837,27
2027	339.818,35	127.594,63	467.412,97	52.079,44
2028	319.387,33	119.923,21	439.310,54	48.948,25
2029	308.136,34	115.698,70	423.835,04	47.223,96
2030	322.693,22	121.164,51	443.857,73	49.454,90

Fonte: A Autora (2021)

Uma discussão aprofundada acerca dos resultados obtidos será apresentada na próxima seção.

5.1.4 Gerenciamento de descarte, coleta e reciclagem de LABs

No que concerne aos resultados obtidos, alguns pontos críticos podem ser apontados. O primeiro ponto a ser citado é o de que a coleta de baterias para a reciclagem no Brasil representa algo em torno de 99%, considerando-se as duas marcas líderes de vendas, porém existe uma perda de 4,5% de chumbo no processo de extração e ainda 1% destas baterias não são reaproveitadas. Por exemplo, no período de Jul/2020 a Dez/2021, somando-se os dois tipos de baterias, deverão existir por volta de 94.000 baterias com destinos desconhecidos, tornando assim os mercados ilegais abastecidos. Além disso, se incluirmos as outras marcas de baterias nacionais e importadas essa taxa poderá ser maior.

De acordo com o *International Battery Council* (2014), um novo ponto é que 99% do chumbo total em um LAB pode ser recuperado. No Brasil a recuperação desse chumbo é atualmente de 95,5%, isso se deve pela falta de novas tecnologias e processos avançados, além de que os processos descritos de recuperação de chumbo na literatura são inadequados às empresas brasileiras. Um dos principais motivos é que o lodo brasileiro contém um baixo teor de chumbo metálico, ao contrário do lodo de bateria obtido exauridos em outros países (FERRACIN *et al.* 2002).

Outro ponto crítico a ser discutido é em relação a capacidade instalada de reciclagem de LAB no Brasil, onde atualmente o mesmo tem uma capacidade de 170 mil toneladas por ano para reciclagem de baterias de chumbo-ácido e ainda para ressaltar a falta de planejamento, no ano de 2007 um projeto de desenvolvimento de unidade de produção primária e secundária de chumbo foi iniciado com término previsto para 2013, no entanto paralisou-se as atividades em 2008 devido à crise econômica, acarretando em uma baixa dos preços do metal e da demanda. Essa unidade deve atingir a capacidade instalada de 75 mil toneladas por ano de chumbo refinado, substituindo 60% das importações de chumbo primário e produzindo 25% do chumbo secundário de reciclagem de baterias (Ministério de Minas e Energia - MME, 2015).

Sendo assim, nos resultados deste trabalho podem ser observados a insuficiência da capacidade instalada para suprir a previsão de 14 milhões de toneladas de chumbo por ano em 2021, ressaltando que o modelo proposto não inclui veículos leves e pesados, ou seja, existe uma maior quantidade do potencial de recuperação de chumbo de LABs.

Um ponto importante colaborado por este estudo é a percepção da ideia de um grande mercado ilegal de reciclagem de baterias no Brasil. Por exemplo, o modelo estimou 11.539.948 milhões de unidade de sucatas de baterias em 2017 (22,26% da frota de motocicletas de acordo

com o Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (2017). Entretanto, se fosse considerado o restante dos veículos seria mais de 40 milhões de baterias coletadas legalmente. Segundo MME (2018), o relatório divulgado apontou que 17,1 milhões de baterias foram coletadas para reciclagem legal no ano de 2017, onde conseqüentemente 34.741.635 milhões de baterias podem ter sido descartados inadequadamente ou seguido para destinos desconhecidos.

Além disso, Trivelato e Paoliello (2009) relataram que, no período de 2000 a 2005, houve uma expansão no número de metalurgias secundárias de pequeno porte, inclusive clandestinas. Essa situação é preocupante pela razão de que os investimentos em reciclagem de baterias de forma sustentável são muitos elevados e as pequenas empresas não podem realizar esse tipo de investimento. Portanto, por ter dificuldade de realizar o rastreamento do destino final de todas as baterias comercializadas, o governo brasileiro fecha os olhos para o mercado ilegal de reciclagem de chumbo de baterias, pois, resulta em geração de trabalho e um destino final as baterias, mesmo colocando o meio ambiente e a vida humana em risco.

Outro ponto a ser discutido vem do acordo setorial de baterias realizado em outubro de 2019 e após um ano de funcionamento 275 mil toneladas de baterias receberam destinação ambientalmente correta e comprovada (ABRABAT, 2020). Porém, o modelo proposto estimou mais de 4.000.000 milhões de unidades de baterias somente de motocicletas neste mesmo período, onde o restante das baterias pode ter ido para o mercado ilegal ou descartadas em lugares inadequados. Portanto, conclui-se que o país ainda tem um caminho longo no gerenciamento de descarte, coleta e reciclagem de baterias automotivas.

5.1.5 A importância da economia de reciclagem de chumbo secundário e os perigos da reciclagem no mercado ilegal

O Brasil importa 100% do chumbo primário por não possuir a etapa de metalurgia (Chumbo metálico primário). Dessa maneira, a produção brasileira de concentrado de chumbo em 2017, oriunda dos municípios de Paracatu-MG e Vazante-MG, foi de 15.701 toneladas, e em metal contido do concentrado atingiu 6.862 toneladas, representando uma queda de 14,0% na produção em relação ao ano 2016 (MME, 2018).

Ademais, no mesmo ano, o consumo de 70% de chumbo metálico foi através de baterias automotivas de chumbo-ácido nas baterias industriais e de motos e em outros usos proveniente do chumbo reciclado (MME, 2018). Como conclusão, a utilização de chumbo secundário proveniente da reciclagem no Brasil é de suma importância e particularmente estratégico, tendo

em vista que a extração de minério das reservas paradas desde 1995 contribui somente com 0,1% de chumbo primário das reservas mundiais.

O chumbo é conhecido como um dos metais mais contaminantes e poluentes para o meio ambiente e o ser humano. No entanto, os efeitos adversos do chumbo na população em geral só começaram a ser um problema de saúde pública na década de 1980 (PAOLIELLO; CAPITANI, 2007). Os casos de contaminação por chumbo são poucos discutidos na literatura científica brasileira, alguns deles de grande impacto são divulgados pela mídia. Um bom exemplo disto, ocorreu na cidade de Bauru, São Paulo, onde a fábrica de baterias Ajax foi interdita em 2011 pela emissão de poluentes, e a contaminação de solo, ar e vegetação por chumbo.

Sendo assim, pode ser observado que existem duas vertentes favoráveis geralmente opostas com o objetivo de atingir a reciclagem de chumbo, que são a economia e o meio ambiente. No entanto, o não-comparecimento de uma fiscalização na união das duas vertentes pode gerar vários problemas ambientais e de saúde pública, como aconteceu nos países da China e Índia.

Nesse contexto, um dos mercados promissores e importantes na reciclagem atualmente é a mineração urbana, conhecido como uma mina de valiosos materiais recicláveis. Conforme Xavier e Lins (2018) a mineração urbana é a recirculação ou reciclagem de produtos e materiais pós-consumo na forma de matéria-prima secundária, como forma de se minimizar os impactos ambientais, valorizar os resíduos, bem como criar e otimizar os benefícios econômicos em prol de um ambiente sustentável. Dessa forma, esse tipo de processo deve operar como dinamizador para a redução de poluentes, preservação dos recursos naturais e crescimento econômico.

Diante dos obstáculos de funcionalidade de um sistema produtivo de logística reversa, a reciclagem da sucata de baterias se torna um mercado economicamente atrativo para os fabricantes. No Brasil, as duas maiores produtoras reciclam em média 99% das baterias por elas inseridas no mercado, sem contar as outras fabricantes e importadoras, uma vez que o governo brasileiro exerce a fiscalização da legislação ambiental e somente em 2019 realizou um acordo setorial de logística reversa de baterias automotivas.

Nesse mercado, devido aos atrasos no gerenciamento da reciclagem de baterias é evidente a expansão de um mercado negro de reciclagem de sucatas de LABs em virtude de não ser bem conhecido e negligenciado pelo governo. Algumas unidades clandestinas de reciclagem de chumbo e importação de baterias são divulgadas pela mídia, mas são

desconhecidas informações como a quantidade de chumbo secundário no mercado ilegal e quais fabricas recebem o chumbo produzidos por elas.

Outra situação levantada em relação a ausência de um papel governamental na logística reversa de LABs é no mercado autorregulado, compostos por catadores ou fundições clandestinas, caracterizadas por pessoas com baixo grau de formação, onde em países subdesenvolvidos há uma vasta gama de indivíduos para efetuar essas atividades. No entanto, o chumbo é um material altamente toxico e seu mercado não pode ser autorregulado, podendo resultar em impactos ambientais e risco ao ser humano.

Por fim, em relação a Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei 12.305 / 2010 (Brasil, 2010), a mesma exige que os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores de baterias organizem e implantem sistemas de logística reversa na devolução do produto após o uso pelo consumidor, independentemente do governo. Neste sentido, em decorrência desta lei o governo tem o poder legal de autuar essas entidades para a devolução das baterias utilizadas no país e participar ativamente como parceiro neste mercado de reciclagem, resultando impactos positivos na economia e no meio ambiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As previsões sobre o potencial de recuperação de chumbo secundário de LABs são essenciais para a tomada de decisão em um planejamento da cadeia logística reversa, pois possibilita arquitetar diversos cenários direcionados às estratégias da organização, ou seja, presunções eficientes proporcionam tomadas de decisões concretas, claras e acertadas na busca de resultados desejados.

Nestas circunstâncias, prever a quantidade de chumbo secundário concede às organizações a possibilidade de realizar planejamento de controle das operações e projetar novas melhorias para a logística reversa de sucatas de baterias de chumbo-ácido. De acordo com esses pressupostos, o referido trabalho buscou estimar o potencial de chumbo secundário a partir da reciclagem de sucatas de baterias de motocicletas no Brasil, no período de 10 anos, com base no modelo de previsão alicerçado na metodologia ARIMA.

O modelo proposto utilizou como dados de entrada a quantidade de motocicletas no período entre 2004 a 2020 para prever a quantidade de sucata de LABs a cada ano, através do modelo ARIMA sazonal $(3,1,0) (2,0,0)^{12}$, considerando o mais eficiente e o melhor que se adequou ao padrão da série, pois retornou os valores de AIC (715,94) e BIC (735,82), representando uma melhor generalidade e um maior potencial de maximização da função de verossimilhança (FV). Ademais, os relatórios dos resíduos e as estimativas da acurácia validaram o modelo SARIMA das várias metodologias ARIMA.

No que diz respeito ao restante do modelo, utilizou-se as estimativas de 1,5 e 3 anos da vida útil para os dois tipos de baterias para previsão da quantidade de sucatas de bateria. Já para as dimensões de chumbo secundário prevista no modelo, foi considerado para cada bateria em média 1,45 kg de chumbo do tipo A e 1,57 kg de chumbo do tipo B, e no processo de reciclagem, perda de 4,5% e outras perdas 1%, chegando ao resultado o potencial real de recuperação de chumbo secundário de 89.972.842,08 milhões de toneladas 2021 a 2030.

Sendo assim, o valor exorbitante de chumbo recuperado não pode ser ignorado por ser somente considerada a frota de motocicletas, uma vez que no final do mesmo período haverá parcelas de chumbo de outros veículos, e que futuramente poderá ter um maior volume total no fim da próxima década.

Os resultados apresentados na seção da aplicação, podem trazer informações importantes para o entendimento da produção secundária de chumbo, pois se torna uma questão vital no planejamento da reciclagem de sucatas de baterias, uma vez que o Brasil não produz

chumbo primário e existe uma grande perda na recuperação na extração de chumbo no processo em relação aos outros países. Dessa maneira, os processos existentes na literatura são inadequados ao perfil brasileiro devido a existência de algumas usinas de reciclagem e fundições secundárias desconhecidas, emitindo em áreas urbanas chumbo contaminante. Por fim, não há dados confiáveis de geração de LABs, quantidade de chumbo reciclado e mercado ilegal de recuperação secundária de chumbo.

Os métodos e os resultados gerados por este estudo podem ajudar a especialistas, tomadores de decisão e áreas da comunidade científica e prática, no gerenciamento e levantamento de dados da reciclagem de resíduos para geração de *insights* e de soluções. O modelo realiza previsão do potencial de recuperação de chumbo secundário de baterias de motocicletas, o que é benéfico, pois existem poucos trabalhos na literatura científica sobre a previsão de chumbo de baterias de automóveis no Brasil e no mundo, tornando a referida pesquisa um auxiliar no planejamento sustentável de resíduos de chumbo.

Além disso, concede dados do mercado de reciclagem de LABs de chumbo secundário legais, resultando em uma estimativa de perda de chumbo no processo e proporção de taxas de coleta de baterias. Portanto, o modelo oferece noções para tomada de decisões no gerenciamento de sucata de baterias para o alcance de metas ambientais e econômicas.

No decorrer da pesquisa algumas limitações foram encontradas, dentre elas pode-se citar a falta de registro ou desatualização sobre a produção e consumo de chumbo no Brasil, a quantidade de baterias geradas pelas fabricantes e a inexistência de informações da importação de baterias. Outra limitação vem da falta de políticas específicas para fornecer informações sobre o impacto de veículos na geração de chumbo secundário, pois facilitaria no controle de registro de informações e de resíduos.

Em relação a propostas para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação do modelo em outros modais de transporte, porque precisam ser igualmente gerenciados e gerar novas informações sobre o assunto. Além do mais, novas estratégias podem ser desenvolvidas para beneficiar as empresas de reciclagem de resíduos, por meio de pesquisas em outros componentes das baterias.

REFERÊNCIAS

ABDEL-KHALEK, S.; ALHAG, A; ABO-DAHAB, S. M.; RAGAB, M.; AHMAD, H. Atomic Fisher information and entanglement forecasting for quantum system based on artificial neural network and time series model. *Internacional Journal of Quantum Chemistry*, p.1-12, 2020.

ABINEE. *Desempenho Setorial*, 2015. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>. Acesso em 18 ago. 2020.

ABRABAT. *Acordo setorial*. 2018. Disponível em: http://consultaspublicas.mma.gov.br/consultaspublicas/uploads/2018/08/Proposta-ABRABAT-Acordo-Setorial-RevisaoMMA_VersaorevisadaSetorBaterias_MMA2018_p%C3%B3sConjur.pdf. Acesso em 25 jul. 2020.

_____. *Cadeia produtiva de baterias promove destinação correta de 275 mil toneladas de produtos no primeiro ano do acordo setorial*. 2020. Disponível em: <https://www.abrabat.com.br/cadeia-produtiva-de-baterias-promove-destinacao-correta-de-275-mil-toneladas-de-produtos-no-primeiro-ano-do-acordo-setorial/>. Acesso em 9 abr. 2021.

_____. *Você sabia que os componentes das baterias de chumbo-ácido são os materiais mais reciclados no mundo?*. 2020. Disponível em: <https://www.abrabat.com.br/voce-sabia-que-os-componentes-das-baterias-de-chumbo-acido-sao-os-materiais-mais-reciclados-no-mundo/>. Acesso em 29 set. 2020.

ABRACICLO. *Anuário Brasileiro de Duas Rodas 2019, Yearbook of Brazil's Two Wheel Industry, 2019*. p. 1-146, 2019. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/anuario-2019-2/>. Acesso em 18 dez. 2020.

AGRAWAL, S.; SINGH, R.K. Analyzing disposition decisions for sustainable reverse logistics: triple Bottom Line approach. *Resour. Conserv. Recycl.* v.150, p.1-11, 2019.

ALBERTIN, M. R.; PONTES, H. L. J. *Gestão de processos e técnicas de produção enxuta*. Curitiba: Inter saberes, 2016.

ALMEIDA, D. M. *Modelos híbridos de séries temporais aplicados ao sistema automotivo On-Board Diagnostics*. 2018, 75 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32682/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20Diogo%20Medeiros%20de%20Almeida.pdf>. Acesso em 09 de Jan. 2020.

ANFAVEA. *Autoveículos: produção, licenciamento, exportações em unidades de montados e CKD (desmontados), exportações em valor e emprego*. 2019. Disponível em: <https://anfavea.com.br/estatisticas-copiar-2>. Acesso em 17 abr. 2020.

ANHOLON, R.; QUELHAS, O.L.G.; LEAL FILHO, W.; DE SOUZA PINTO, J.; FEHER, A. Assessing corporate social responsibility concepts used by a Brazilian manufacturer of airplanes: a case study at Embraer. *J. Clean. Prod.* v. 135, p.740-749, 2016.

ARAÚJO, M. C. B.; ALENCAR, L. H.; MOTA, C. M.M. Project procurement management: A structured literature review. *International Journal of Project Management*, v. 35, n. 3, p. 353–377, 2017.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. *J. Informetr*, v. 11. 959–975, 2017.

ARRUDA, L. R.; LAMEIRA, V. J.; QUELHAS, O. L. G.; PEREIRA, F. N. Sustainability in the Brazilian heavy construction industry: an analysis of organizational practices. *Sustainability*, v.5, p. 4312-4328, 2013.

AUTO ESPORTE. *Veja dicas para a bateria da moto durar mais*. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2012/03/veja-dicas-para-bateria-da-moto-durar-mais.html#:~:text=Segundo%20especialistas%2C%20as%20baterias%20de,para%201%20ano%20e%20meio>. Acesso em 23 ago. 2020.

AWASTHI, A. K.; CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; LI, J.; ROSA, P.; TERZI, S.; WEI, G.; ZENG, X. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. *The Science of the Total Environment*, p. 613-614, 2017.

BABAI, M. Z.; ALI, M.; BOYLAN, J. Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA(0,1,1) demand: Theory and empirical analysis. *International Journal Of Production Economics*, v. 143, n. 2, p.463-471, 2013.

BABU, C. N.; REDDY, B. E. Prediction of selected Indian stock using a partitioning–interpolation based ARIMA–GARCH model. *Applied Computing And Informatics*, v. 11, n. 2, p.130-143, 2015.

BAEK, S.; YOON, D. Y.; LIM, K. J.; CHO, J. K.; SEO, Y. L.; YUN, E. J. The most downloaded and most cited articles in radiology journals: a comparative bibliometric analysis. *European Radiology*, v. 28, n. 11, p. 4832–4838, 2018.

BALDÉ, C.; WANG, F.; KUEHR, R.; HUISMAN, J. *The Global E-Waste Monitor*. United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany, p. 1-80, 2015.

BARATA, J. F. F.; GUELHAS, O. L. G.; COSTA, H. G.; GUTIERREZ, R. H.; LAMEIRA, V.J.; MEIRINÕ, M. J. Multicriteria indicator for sustainability rating in suppliers of the oil and gas industries in Brazil. *Sustainability* v.6, p. 1107-1128, 2014.

BARBOSA-POVOA, A.P.; SILVA, C.; CARVALHO, A. Opportunities and challenges in sustainable supply chain: an operations research perspective. *Eur. J. Oper. Res.* v.268, p.399-431, 2018.

BARROS, D. C.; PEDRO, L. S. As mudanças estruturais do setor automotivo, os impactos da crise e as perspectivas para o Brasil. *BNDES Setorial*, n. 34, set. 2011, p. 173-202, 2011.

BESEN, G. R.; FRACALANZA, A. P. Challenges for the Sustainable Management of Municipal Solid Waste in Brazil. *Disp. the planning Review*, p. 45-52, 2016.

BITTENCOURT, E. S.; FONTES, C. H. O.; RODRIGUEZ, J. L. M.; FILHO, S. Á.; FERREIRA, A. M. S. Forecasting of the unknown end-of-life tire flow for control and decision

making in urban solid waste management: A case study. *Waste Management & Research*, v. 38, n. 2, p. 193-201, 2020.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S.R. Pilhas e Baterias: Funcionamento e impacto ambiental. *Química Nova na Escola*, n 11, p. 3-9, 2000.

BOFFE, P. M.; CALEGARI, R. P.; DE SOUZA, D. C. R.; CONCEIÇÃO, P. S.; SZYMCZAK, D. A.; TESSARO, D. Potencial fitoextrator da espécie vegetal *Helianthus annuus* L. Em solo contaminado por chumbo. *Espacios*, v. 38, n. 9, p. 8, 2017.

BORGES, M. L.; ANHOLON, R.; ORDÓÑES, R.E.C.; QUELHAS, O.; SANTA-EULÁLIA, L. A.; LEAL FILHO, W. Corporate Social Responsibility (CSR) practices developed by Brazilian companies: an exploratory study. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* v. 25, p. 509-517, 2018.

BOX, G. E. P.; JEKINS, G. M.; REINSEL, G. C.; LJUNG, G. M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 15 ed. San Francisco: Wiley, 2015.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M. Time series analysis: Forecasting and control. *Holden-Day*, San Francisco: CA, p. 85-95, 1976.

BRASIL, Decreto nº 4.581, de 25 de agosto de 1939. Promulga a Emenda ao Anexo I e Adoção dos Anexos VIII e IX à Convenção de Basiléia sobre o Controle do Movimento Transfronteiriço de Resíduos Perigosos e seu Depósito. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2003.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2010.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 401, de 04 de novembro de 2008. *Diário Oficial da União*, Brasília, 5 nov. 2008.

BRÖMER, J.; BRANDENBURG, M.; GOLD, S. Transforming chemical supply chain toward sustainability: a practice-based view. *J. Clean. Prod.* v. 236, p.117-701, 2019.

BUSCH, J.; STEINBERGER, J. K.; DAWSON, D. A.; PURNELL, P.; ROELICH, K. Managing critical materials with a technology-specific stocks and flows model. *Environmental Science and Technology*, v. 48, n. 2, p. 1298–1305, 2014.

BYRNE, J. A. What you need to know about stationary battery recycling. *34TH International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, 2012.

CABRAL NETO, J. C.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. A time series model for estimating the generation of lead acid battery scrap. *Clean Techn Environ Policy*, v. 18, n. 6, p. 1931–1943, 2016.

CABRAL NETO, J.P. *Estimativa da geração de sucata de bateria de chumbo-ácido como ferramenta de gestão de resíduos eletroeletrônicos*. Caruaru, 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), UFPE, Caruaru, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17453/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Jo%C3%A3o%20Cabraal_PPGEAM.pdf. Acesso em 23 de Mar. 2020.

CALDEIRA, A. *Especialistas dão dicas para cuidar e aumentar a vida útil da bateria da sua moto*. 2020. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/meios-de-transporte/moto/veja-dicas-para-fazer-a-bateria-da-moto-durar-mais/>. Acesso em 23 ago. 2020.

CASTRO, B. H. R., BARROS, D. C., VEIGA, S. G. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. *BNDES Setorial*, mar. p. 443-496, 2013.

CHEN, F.; YANG, B.; ZHANG, W.; MA, J.; LV, J.; YANG, Y. Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: a case study in Xuzhou, China. *Waste Manag*, v. 60, p. 660–665, 2017.

CORDEIRO R; LIMA-FILHO, E. C; SALGADO, P. E. T. Distúrbios neurológicos em trabalhadores com baixos níveis de chumbo no sangue: neuropatia periférica. *Revista Saúde Pública*, v.30, n.3, p. 248-255, 1996.

CORDEIRO, R. LIMA-FILHO, E. C. A inadequação dos valores de tolerância biológica para a prevenção da intoxicação profissional pelo chumbo no Brasil. *Saúde Pública*, v.11, n.2, p. 177-186, 1995.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação base para SAP, oracle applications e outros softwares integrados de gestão*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

COWPERTWAIT, P. S. P.; METCALFE, A. V. *Introductory Time Series with R*. 1. ed. New York: Springer, 2009.

CRUZ, A.B. Comparação entre modelos de previsão de demanda: estudo de caso de um restaurante de comida japonesa. *REMAT*, v. 2, n. 2, p. 180-197, 2016.

CSPower. *Baterias de Chumbo-Ácido São Recicláveis?*, 2009. Disponível em: <http://pt.cspowerbattery.com/industry-155457>. Acesso em 10 set. 2020.

CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; LENNY KOH, S.C.; ROSA, P. Recycling of WEEEs: an economic assessment of present and future e-waste streams. *Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 51 (C), 2015, p. 263-272.

DASGUPTA, D.; DEBSARKAR, A.; HAZRA, T.; BALA, B.K.; GANGOPADHYAY, A.; CHATTERGEE, D. Scenario of future e-waste generation and recycle-reuse-landfill-based disposal pattern in India: a system dynamics approach. *Environment, Development and Sustainability*, v. 19, n. 4, p. 1473–1487, 2017.

DEB, C.; ZHANG, F.; YANG, J.; LEE, S. E.; SHAH, K.W. A review on time series forecasting techniques for building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 902-924, 2017.

DENATRAN. *National Traffic Department*. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2017>. Acesso em 8 abr. 2021.

_____. Brasil já tem 1 carro a cada 4 habitantes, diz DENATRAN. 2020. Disponível em: <http://www.and.org.br/brasil-ja-tem-1-carro-a-cada-4-habitantes-diz-denatran/>. Acesso em 27 jul. 2021.

DEV, N.K.; SHANKAR, R.; SWAMI, S. Diffusion of green products in industry 4.0: reverse logistics issues during design of inventory and production planning system. *J. Prod. Econ.*, v.223, p. 1-16, 2019.

DIAS, P.R. *Characterization and Recycling of Materials of Photovoltaic Modules (Solar Panels)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), UFRGS, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127924/000973954.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 04 de Out. 2020.

DIAS, P.R.; MACHADO, A.; HUDA, N.; BERNARDES, A. M. Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 7–16, 2018.

DIAS, P.R., BENEVIT, M.G., VEIT, H.M. Photovoltaic solar panels of crystalline silicon: characterization and separation. *Waste Manag Res.*, v. 34, p. 235-245, 2016.

DUMAN, G. M.; KONGAR, E.; GUPTA, S. M. Predictive analysis of electronic waste for reverse logistics operations: a comparison of improved univariate grey models. *X- mol Academic*, v. 24, n. 20, p. 15747–15762, 2020.

EDIGER, V. Ş.; AKAR, S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*, v. 35, n. 3, p.1701-1708, mar. 2007.

EPA. *Implementation of the Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act*. 2020. Disponível em: <https://www.call2recycle.org/wp-content/uploads/ImplementationoftheMercuryContainingandRechargeableBatteryManagementAct.pdf>. Acesso em 20 fev. 2020.

EPB. EUROPEAN PARLIAMENT BRIEFING. European Parliamentary Research Service. 2015. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2015/569025/EPRS_ATA\(2015\)569025_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2015/569025/EPRS_ATA(2015)569025_EN.pdf). Acesso em 17 set. 2020.

FARREL, P. J.; STEWART, K. R. Comprehensive Study Of Tests For Normality And Symmetry: Extending The Spiegelhalter Test. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, v. 76, n. 9, pp. 803–816, 2006.

FENABRAVE. Anuário 2019: O desempenho da distribuição automotiva no Brasil. *Milxtor arte*. v. 11, n. 1, p. 1-84, 2019.

_____. *Anuário da distribuição de veículos automotores no brasil 2008*. 2008. Disponível em: <http://www.fenabrave.org.br/anuarios/Anuario2008.pdf>. Acesso em 20 fev. 2020.

FERNANDES, J. D.; DANTAS, E. R. B.; BARBOSA, J. N.; BARBOSA, E. A. Estudo de impactos ambientais em solos : o caso da reciclagem de baterias automotivas usadas , tipo

chumbo-ácido. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 7, p. 231–255, 2011.

FERRACIN, L.C.; CHÁCON-SANHUEZA, A.E.; DAVOGLIO, R. A.; ROCHA, L.. Lead recovery from a typical Brazilian sludge of exhausted leadacid batteries using an electro hydrometallurgical process. *Hydrometall*, v.65, p. 137–144, 2002.

FERREIRA, L. “Logística reversa de pós-consumo como fator estratégico e sustentável dentro das organizações”. *Revista Intellectus*, n. 20, p. 50-61, 2012.

FLORIANO, E. P.; MULLER, I.; FINGER, C. A. G. SCHNEIDER, P.R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 2, p. 177-199, 2006.

FORTES, J. D. N. *A intervenção técnica em pequenas indústrias de fabricação de reforma de baterias chumbo-ácidas: proposta para melhoria da qualidade do ar e preservação da saúde do trabalhador*. 2003. 192 p. Tese. Doutorado (Ciências na Área de Saúde Pública), Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/4443/2/164.pdf>. Acesso em 27 Dez. 2020.

GALVÃO, M. C. B; RICARTE, I. L. M. Systematic literature review: concept, production and publication. *Logeion: Filosofia da Informação*, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

GRIGOLETTO, T. L. B. *Chumbo na água de consumo de Ribeirão Preto (SP): fatores químicos, físicos e possíveis correlações com a contaminação de crianças*. Ribeirão Preto, 84p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59138/tde-17052011-173501/publico/DissertacaoGrigolettoTLB.pdf>. Acesso em 14 Set. 2020.

GU, W.; WEI, L.; ZHANG, W.; YAN, X. Evolutionary game analysis of cooperation between natural resource- and energy-intensive companies in reverse logistics operations. *Int. J. Prod. Econ.* v. 218, p.159-169, 2019.

HAMOUDA, K.; ROTTER, V. S.; KORF, N. Methodological approach to improving WEEE assessment in emerging economies. *Electronics Goes Green*, p. 1–5, 2016.

HE, Y.; CHEN, Y.; JIN, X.; CUI, J.; HUANG, Y. Situation analysis of the recovery and utilization of used lead-acid batteries in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 227, n. 5, p. 1-12, 2019.

INTERNATIONAL BATTERY COUNCIL. *Recycling rate of lead from lead-acid batteries climbs to 99%*. 2014. Disponível em: http://c.yimcdn.com/sites/batterycouncil.org/resource/resmgr/Press_Releases/Recycling_Study_Press_Releas.pdf. Acesso em 7 Jun. 2020.

KANNAN, G.; SASIKUMAR, P.; DEVIKA, K. A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling*, v. 34, n. 3, p. 655–670, 2010.

KLASSEN, C. *A Importância da Logística Reversa na Sociedade Contemporânea*. (2012). Disponível em: <http://tcconline.utp.br/wp-content/uploads/2012/08/A-IMPORTANCIA-DA->

LOGISTICA-REVERSA-NA-SOCIEDADE CONTEMPORANEA.pdf. Acesso em 26 out. 2020.

KUMAR, A., HOLUSZKO, M., ESPINOSA, D.C.R. E-waste: an overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resour. Conserv. Recycl.*, v. 122, p. 32-42, 2017.

KUMAR, R.V. A low-cost green technology for recovering lead paste and lead-alloy grid materials for spent lead acid batteries. *Miner. Process. Extr. M.*, v.126, p.89–93, 2017.

KUSHWAHA, G.; SHARMA, N. Green initiatives: a step towards sustainable development and firm's performance in the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 121, p. 116-129, 2016.

LEITE, E. M. A. *Exposição Ocupacional ao chumbo e seus compostos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas – setor de toxicologia disciplina de análises toxicológicas*, 2006.

LI, Z.; HE, J.; LAI, X.; HUANG, Y.; ZHO, T.; BARENJI, A. V.; WANG, W.M. Evaluation of product recyclability at the product design phase: a time-series forecasting methodology. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 31, n. 4–5, p. 457–468, 2018.

LIU, K.; TAN, Q.; LIU, L.; LI, J. From lead paste to high-value nanoleaf sulfide products: a new application of mechanochemistry in the recycling of spent lead-acid batteries. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, v. 8, p. 3547-3552, 2020.

LIU, K.; LIANG, S.; WANG, J.; HOU, H.; YANG, J.; HU, J. Synthesis of the PbS dendritic nanostructure recovered from a spent lead-acid battery via an integrated vacuum chlorinating and hydrothermal Process. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, v.3, p. 3104-3113, 2018.

LEE, J. W.; TAN, W. N. Global Corporate Citizenship: Cross-cultural Comparison of Best Practices in the Global Automotive Industry. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, v. 6, n. 1, p. 261–271, 2019.

MAGALHÃES, D. Chumbo. Toda matéria: conteúdos escolares, 2019. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/chumbo/>. Acesso em 25 out. 2020.

MAKRIDAKIS, S. WHEELWRIGHT, S. C.; HYDMAN, J. R. *Forecasting methods and applications*. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 1998.

MANTUANO, D. P.; ESPINOSA, D. C. R.; WOLFF, E.; MANSUR, M. B.; SCHWABE, W. K. Pilhas e baterias portáteis: legislação, processos de reciclagem e perspectivas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 21, p. 1-13, 2011.

MARANGONI, P. H. *Redes Neurais Artificiais para Previsão de Séries Temporais no Mercado Acionário*. 2010. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/123730/Economia292751.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 04 Abr. 2020.

MARTIN, A. C.; HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; KONRATH, A. C. Análise de séries temporais para previsão da evolução do número de automóveis no Município de Joinville. *Revista Espacios*, v. 37, n. 6, 2016.

MAVROPOULOS, E. *A hidroxipatia como removedora de chumbo*. 1999. 126 p. Tese. (Mestrado) - Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

MEIO AMBIENTE. *Brasil vai reciclar 155 mil toneladas de chumbo até 2023*. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2020/02/brasil-vai-reciclar-155-mil-toneladas-de-chumbo-ate-2023>. Acesso em 18 out. 2020.

MIHAILA, L.; UNGURESAN, M.; RADA, M.; POPA, A.; MACAVEI, S.; VERMESAN, H.; RADA, S. Perspectives in the Recycling of High Sulphatized Electrodes from Lead Acid Batteries. *Analytical Letters*, p. 1414-1422, 2020.

MME. *Ministerio de Minas e Energia: sumario mineral do ano de 2017*. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/chumbo_sm_2018. Acesso em 11 abr. 2021.

_____. *Resumo Mineral Anual volume 15*. 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>. Acesso em 11 abr. de 2021.

MMEREKI, D.; LI, B.; HOSSAIN, M. U.; MENG, L. Prediction of e-waste generation based on grey model (1,1) and management in Botswana. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 17, n. 11, p. 2537–2548, 2018

MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e operações*. 2.ed. São Paulo: Learning, 2008.

MOSELEY, P.; GARCHE, J.; PARKER, C.D.; RAND, D. A. J. *Valve-Regulated Lead-Acid Batteries*. Amsterdam: Elsevier Inc, p. 1-491, 2004.

MOURA. *A bateria ideal para a sua moto*. 2017. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/conheca-bateria-ideal-para-sua-moto/>. Acesso em 12 set. 2020.

_____. *Catálogo de Baterias – Aplicações 2015/2016*. Recife, p. 1-7, 2015.

NASCIMENTO, F. B.; DA SILVA, Y. B. R.; LIMA, L.S.S.; DOS SANTOS, M. S. F. Logística reversa dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos de pós-consumo na cidade de Teresina. *Sistemas e Gestão*, v. 13, n. 4, p. 519–531, 2018.

OCD. *The polluter pays principle: Definition: Analysis: Implementation*. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development. Publications Center, 2020.

OLIVEIRA, U.R. *Contributions to Improve the Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazil, in the Context of Environmental Sustainability*. UNESP, São Paulo, 2016.

ONGONDO, F.O., WILLIAMS, I.D., CHERRETT, T.J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Manag*, v. 31, n.4, p. 714-730, 2011.

OTTONI, M.; DIAS, P.; XAVIER, L. H. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 261, p. 120-990, Mar. 2020.

OZIAS, G. G. *Logística reversa : Um estudo de caso na Baterias Moura Recife*. 2017. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Administração de Empresas) - Faculdade Damas da Instrução Cristã, Recife, 2017. Disponível em: file:///C:/Users/Maria%20do%20Livramento/Downloads/423.pdf. Acesso em 20 Mar. 2020.

PAOLIELLO M. M. B; CAPITANI, E. M. Occupational and environmental human lead exposure in Brazil. *Environmetal Research*. v, 103, p. 288–297, 2007.

PAVLOV, D. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. 1. Ed. Elsevier Science, 2011.

_____. *Lead-acid batteries: Science and technology*. 2º ed. Amsterdam: Elsevier Science, p. 1-270, 2017.

PEREIRA, J. A.; BÁNKUTI, S. S. Estrutura de Mercado e Estratégia: Um Estudo na Indústria Brasileira de Baterias Automotivas. *Revista Ibero-Americana de Estratégia*, v. 15, n. 01, p. 97–115, 2016.

PETRIDIS, N. E.; STIAKAKIS, E.; PETRIDIS, K.; DEY, P. Estimation of computer waste quantities using forecasting techniques. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, n. 2016, p. 3072–3085, 2016.

PRAJAPATI, H.; KANT, R.; SHANKAR, R. Bequeath life to death: state-of-art review on reverse logistics. *J. Clean. Prod.* v.211, 503-520, 2019.

_____. Prioritizing the solutions of reverse logistics implementation to mitigate its barriers: a hybrid modified SWARA and WASPAS approach. *J. Clean. Prod.* v. 240, p.118-219, 2019.

REIS, M. M. *Análise de Séries Temporais*, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ress/v24n3/2237-9622-ress-24-03-00565.pdf>. Acesso em 30 Nov. 2015.

RICHA, K.; BABBITT, C.; GAUSTAD, G.; WANG, X. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 83, n. 2014, p. 63–76, 2014.

ROBERTS, H. Evolution of Global Secondary Lead Production. In: PbZn 2020: 9th International Symposium on Lead and Zinc Processing. *The Minerals, Metals & Materials Series*. p. 1-986, Springer, Cham, 2020.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. Going backwards: reverse logistics trends and practices. *Reno: Universidade de Nevada*, 1999.

RUETSCHI, P., 2004. Aging mechanisms and service life of lead–acid batteries. *J. Power Sources*, v.127, p.33–44, 2004.

SANTOS, J. D.; ALONSO-GARCÍA, M. C. Projection of the photovoltaic waste in Spain until 2050. *Journal of Cleaner Production*,v. 196, p. 1613–1628, 2018.

SANTOS, M. S.; CABRAL NETO, J. C.; SILVA, M. M. Forecasting model to assess the potential of secondary lead production from lead acid battery scrap. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 6, p. 5782–5793, 2019.

SCHUMACHER, K. A.; SCHUMACHER, T.; AGBEMABIESE, L. Quantification and probabilistic modeling of CRT obsolescence for the State of Delaware. *Waste Management*, v. 34, n. 11, p. 2321–2326, 2014.

SEBRAE. *Inovação e alta performance no setor automotivo*. 2018. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/segmentos/veiculos>. Acesso em 17 abr. 2020.

SHI, M.; YUAN, J.; DONG, L.; ZHANG, D.; LI, A.; ZHANG, J. Combining physicochemical model with the equivalent circuit model for performance prediction and optimization of leadacid batteries. *Electrochimica Acta* v. 353, p. 136-167, 2020.

SILVA, A.F.; MATTOS, U.A.O. Logística Reversa - Portugal, Espanha e Brasil: uma revisão bibliográfica. *Revista Internacional de Ciências*, v. 9, n. 01, p. 35-52, 2019.

SILVA, A.S. *Comparação entre professores e profissionais de outras áreas em relação ao uso da voz – uma análise estatística*. 2013. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Atuário/Estatístico)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://www.im.ufrj.br/estatistica/web/wp-content/uploads/2016/04/2013_Aline.pdf. Acesso em 20 Jun. 2020.

SILVA, H. N. C.; PRADA, D. M.; LIMA, G. B. A.; ZOTES, L. P.; MATTOS, L. V. A techno-economic aluation of the energy generation by proton Exchange membrane fuel cell using biogas reforming. *J. Clean. Prod.* v. 200, p. 598-608, 2018.

SOUZA, G. P.; SAMOHYL, R. W.; MIRANDA, R. G. *Métodos simplificados de previsão empresarial*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, p. 1-181, 2008.

SOUZA, M. T. S.; PAULA, M. B.; SOUZA-PINTO, H. “O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo”, *Revista de Administração de Empresas*, v. 52, n. 2, 2012.

STEP. SOLVING THE E-WASTE PROBLEM. *One Global Definition of E-waste*. UNU. Germany, p. 1-13, 2014.

TERÇARIOL, S. G; MATOS, G. M; CAROLINA, C. Revisão A intoxicação por chumbo como patologia ocupacional Lead poisoning as work related disease. *Fisioterapia Brasil*, v. 11, n. 18, p. 309–314, 2010.

THE EUROPEAN PARLIAMENT. Official journal of the european union. Diretiva 2002/96/CE - On waste electrical and electronic equipment. Disponível em: <http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUri-Serv.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:pt:PDF>. Acesso em 05 out. 2020.

_____. Official journal of the european union. Diretiva 91/157/CEE - on batteries and accumulators. Disponível em: <http://eur-llx.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0157:PT:HTML>. Acesso em 05 out. 2020.

_____. Official journal of the european union. Diretiva 2011/65/EU - concerning the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical equipment and electronic. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0065&from=LV>. Acesso em 05 out. 2020.

_____. Official journal of the european union. Diretiva 2006/66/CE - Batteries and accumulators and waste. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:266:0001:0014:en:PDF>. Acesso em 05 out. 2020.

TIAN, X.; GONG, Y.; WU, Y.; AGYEIWAA, A.; ZUO, T. Management of used lead acid battery in China: Secondary lead industry progress, policies and problems. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 93, p. 75–84, 2014.

_____. The lead-acid battery industry in China: Outlook for production and recycling. *Waste Management and Research*, v. 33, n. 11, p. 986–994, 2015.

TRIVELATO, G.C.; PAOLIELLO, M.M. Recycling of lead and human exposure in Brazil. *Paper presented at the Sixth International Symposium on Recent Advances in Environmental Health Research*, Jackson, Mississippi, USA, 2009.

TUMPA, T. J.; ALI, S. M.; RAHMAN, M. H.; PAUL, S. K.; CHOWDHURY, P.; KHAN, S. A. R. Barriers to green supply chain management: an emerging economy context. *J. Clean. Prod.* v.236, p.117-617, 2019.

VARSHNEY, K.; VARSHINEY, P. K.; GAUTAM, K.; TANWAR, M. Current trends and future perspectives in the recycling of spent lead acid batteries in India. *Materials Today: Proceedings*, v. 26, p. 592–602, 2020.

VIVEK, L. S.; KHUTETA, A.; SHAHA, S. Forecasting of Scrapped (e-waste) Mobiles. *IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT) 2019*, p. 1–5, 2019.

WANG, F.; HUISMAN, J.; BALDÉ, K.; STEVELS, A. A systematic and compatible classification of weee. *Electronics Goes Green*, v.1, p. 1–6, 2012.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. *Gestão e Produção*, v. 10, n.º. 1, p. 47-67, 2003.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BONI, H. Global perspectives on e-waste. *Environ. Impact Assess. Rev.* v. 25, p. 436-458, 2005.

WORRELL, E.; REUTER, M.A. *Handbook of Recycling*. 1º ed. Amsterdam: Elsevier Inc., 2014.

XAVIER, J.M.N. *Análise e previsão de séries temporais com modelos ARIMA e análise espectral singular*. 2016. 102F. Dissertação. (Mestrado em Bioestatística e Biometria) - Universidade Aberta, 2016. Disponível em: https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/5873/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Jorge.Xavier_%201104916.pdf. Acesso em 20 Jun. 2020.

XAVIER, L. H.; LINS, F. A. F. MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS

ELETROELETRÔNICOS: Uma nova fronteira a explorar no Brasil . *Brasil Mineral*, v. 1, n. 379, p. 22–26, 2018.

ZENG, D.; BORN, M.; WAMBACH, K. Pyrolysis of EVA and its application in recycling of photovoltaics. *J. Environ. Sci.*, v. 16, n.6, p. 889-894, 2004.

ZHANG, G. P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, v. 50, n.1, p. 159-175, 2003.

ZHANG, L.; XU, Z. A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. *J. Clean. Prod.*, v. 127, p.19-36, 2016.

ZHANG, P.; LIU, G. Data-Driven Recovery Potential Analysis and Modeling for Batteries Recovery Operations in Electric Bicycle Industry. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, v. 2018, p. 1-19, 2018.

ZHANG, W.; YANG, J.; WU, X.; HU, Y.; WANG, J.; DONG, J.; LI, M.; LIANG, S.; HU, J.; KUMAR, R. V. A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, v. 61, p.108–122, 2016.

ZHANG, X.; PAN, J.; SUN, Y.; FENG, Y.; NIU, H. An energy saving and fluorine-free electrorefining process for ultrahigh purity lead refining. *Chin. J. Chem.* p. 1-9, 2018.

YOHEESWARAN, E.; GOVINDARADJANE, S.; SUNDARARAJAN, T. Recovery of Lead Metal from Lead Acid Battery by Hydrometallurgical Method. *Certified International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, v. 2, n. 1, p. 2319–5967, 2013.