



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

JOÃO PINTO CABRAL NETO

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE SUCATA DE BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO
COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

CARUARU - PE
2016

João Pinto Cabral Neto

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE SUCATA DE BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO
COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Resíduos Sólidos Eletroeletrônicos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Machado Santos.

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Maísa Mendonça Silva.

Caruaru - PE
2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

C117e Cabral Neto, João Pinto.
Estimativa da geração de sucata de bateria de chumbo-ácido como ferramenta de gestão de resíduos eletroeletrônicos. / João Pinto Cabral Neto. – 2016.
67f. : il. ; 30cm.

Orientadora: Simone Machado Santos
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação e Engenharia Civil e Ambiental, 2016.
Inclui Referências.

1. Lixo eletrônico. 2. Acumuladores. 3. Resíduos sólidos. 4. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc.). I. Santos, Simone Machado. (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-069)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE SUCATA DE BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO
COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

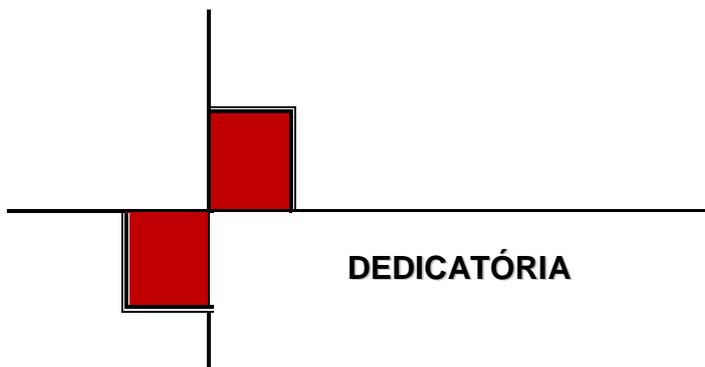
Defendida por:
JOÃO PINTO CABRAL NETO

Caruaru, 20 de abril de 2016.

DR^a. SIMONE MACHADO SANTOS – PPGECAM/UFPE
Orientadora

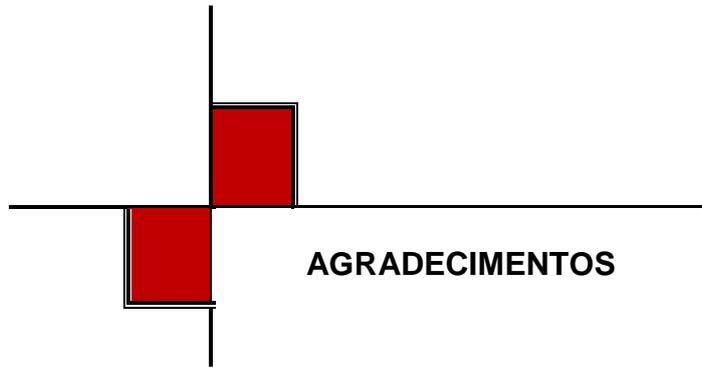
DR. MÁRIO TAKAYUKI KATO – PPGEC/UFPE
Examinador externo

DR^a. RENATA MACIEL DE MELO – PPGEP/UFPE
Examinadora externa



DEDICATÓRIA

A Deus, por ser o maior exemplo de perseverança, amor e compaixão, que me deu forças em todos os momentos que precisei.
À minha família, por toda dedicação e ensinamentos, por ser sempre meu alicerce.



Agradeço, antes de tudo, a Deus por me dar forças, sabedoria e paciência para enfrentar os momentos mais difíceis e por ter colocado pessoas em meu caminho que estão sempre dispostas a me auxiliar.

Aos meus pais, Assis e Marlucia, por estarem sempre ao meu lado, ensinando-me, dia após dia, o verdadeiro valor da família; pelo amor, educação, esforços e dedicação para comigo. Enfim, por serem as pessoas que mais admiro na vida.

À minha irmã Daiane, pelo companheirismo, pelas palavras de apoio e carinho e por sempre lembrar-me da importância de termos um ao outro.

À minha amada tia Socorro, por sempre ter estado ao meu lado nos bons e maus momentos e por ter participado de minha educação, sempre me aconselhando para o bem.

À minha querida avó Severina, pelas conversas, pelo incentivo e por ser um exemplo em minha vida.

Às minhas tias Marleide e Marilúcia, e a todos os familiares, pelos momentos de desconcentração, união, apoio e amor.

À Viviany, por gostar de mim por inteiro, me dando forças para vencer os obstáculos.

Aos amigos do Mestrado, Devson, Martina, Manuella, Vanessa, José Roberto, Wendell, Thomas e Lyanne, por todas as noites que viramos juntos estudando para as provas, pelo auxílio constante e palavras de incentivo.

À professora Simone, por sempre ter acreditado em mim, por toda motivação e torcida durante os processos de seleção que participei para entrar no mestrado, pelas lições, orientação, amizade e por contribuir, de forma significativa, com a tessitura deste trabalho.

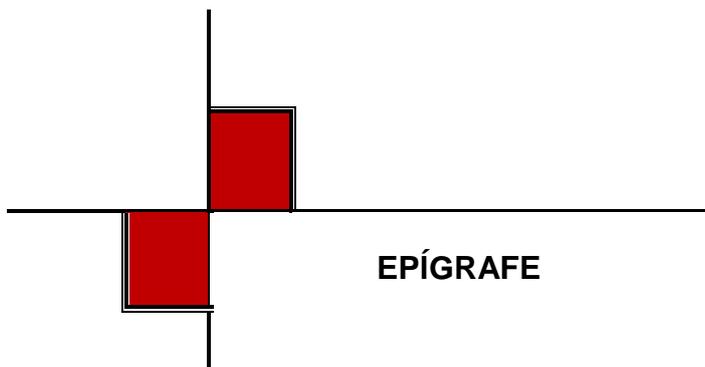
À professora Máisa, por toda paciência e conhecimento compartilhado, por fazer dos momentos de cálculos e mais cálculos, momentos de descontração, e pelo apoio imprescindível, sem o qual este trabalho não poderia ter sido feito.

A Bacelar e à empresa Moura, que me deram oportunidade de mostrar minha capacidade de fazer um mestrado sem abandonar as responsabilidades da empresa, sempre me apoiando nos momentos em que mais precisei.

A Marcelo, pela presteza junto à secretaria do mestrado e também pela amizade.

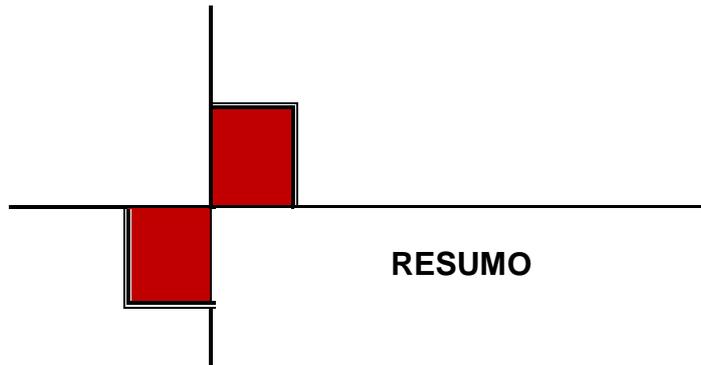
A todos os demais amigos e colegas, pelos bons momentos divididos.

A todos vocês, abraço com profundo sentimento de gratidão. Dedico-lhes meus méritos.



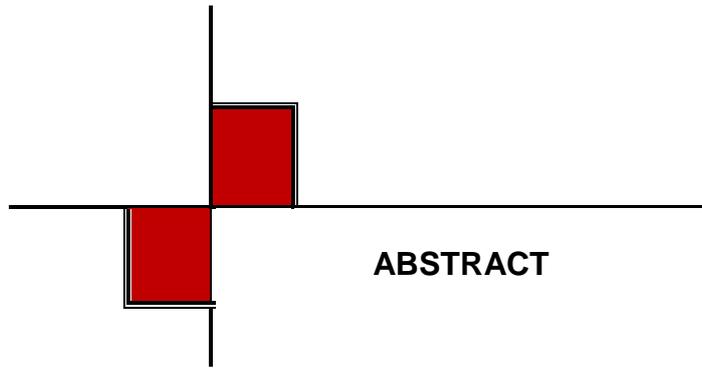
Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no oceano.
Contudo, se lhe faltasse uma gota, o oceano
seria menor.

(MADRE TERESA DE CALCUTÁ)



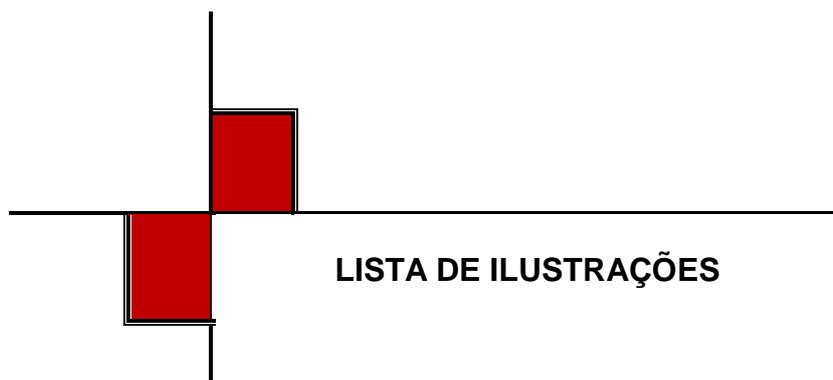
O trabalho versa sobre a problemática do crescimento da geração de um tipo de resíduo eletroeletrônico: a bateria de chumbo-ácido. Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos são objeto de diversas pesquisas mundo afora, não somente devido ao seu crescimento acelerado, mas também porque muitos são fontes de materiais perigosos ao meio ambiente e à saúde pública. Nesse contexto, estão as baterias automotivas, cuja produção está vinculada à fabricação de carros e a sua própria vida útil. A maior parte das baterias comercializadas no Brasil são do tipo chumbo-ácido, cujos resíduos contêm grandes quantidades de chumbo que poderiam ser aproveitadas. Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo principal a construção de um modelo matemático para a projeção futura de sucatas de bateria, considerando fatores tais como mercado de venda de automóveis (carro passeio) e vida útil das baterias. Para tanto, foi construída uma série temporal, a partir da análise histórica de venda de veículos, composta por dados de 10 anos. Com o levantamento das informações, foram utilizadas ferramentas de análise de séries temporais para a identificação da existência de características como tendência e/ou sazonalidade na série de dados. Comprovada a existência de tais características, foi realizada a suavização da série e, posteriormente, a proposição do método estatístico de previsibilidade, observando as hipóteses de utilização de médias móveis, suavizações simples, dupla ou tripla. O modelo matemático deste estudo poderá tornar possível o planejamento adequado, por parte de empresas e governo, quanto à política de gerenciamento dos resíduos de acumuladores, considerando a logística reversa, como objetivo a ser alcançado.

Palavras chave: Resíduos eletroeletrônicos. Sucata de baterias. Previsibilidade.



The paper aims to introduce the issue from the growing generation of a type of electronic waste: a lead-acid battery. Waste of electrical and electronic equipment are the subject of several studies around the world, not only because of its rapid growth, but also because many are sources of hazardous materials to the environment and public health. Most batteries sold in Brazil are the lead-acid type, whose waste contains large amounts of lead that could be harnessed. Thus, this work aims to build a mathematical model for the future projection of battery scrap, considering factors such as car sales market (passenger car) and battery life. To this end, a time series will be built from the historical analysis of car sales, comprising data for 10 years. From the survey information will be used time series analysis tools for identifying the existence of trend and/or seasonality. If proven such characteristics, the smoothing of the series will be held and subsequently proposing the statistical method of predictability, noting the chances of using moving averages, simple smoothing, double or triple. The mathematical model of this study will make possible the proper planning on the part of business and government, as the management policy of waste batteries, considering the reverse logistics as a goal to be achieved.

Key-words: electronic waste, battery scrap, predictability.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Composição de uma bateria.....	23
Figura 2 – Fluxograma metodológico.....	30
Figura 3 – Fluxograma do modelo matemático de projeção de sucatas.....	60
Gráfico 1 – Venda de veículos de Jan-05 a Dez-14.....	40
Gráfico 2 – Função de autocorrelação da série de venda de automóveis.....	40
Gráfico 3 – Média Móveis (comprimento = 3): simulação de venda de automóveis.....	49
Gráfico 4 – Método de Winters: simulação de venda de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3).....	49
Gráfico 5 – Método de Winters: simulação de venda de automóveis – método aditivo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3).....	50
Gráfico 6 – Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,2; γ (tendência) = 0,2; δ (sazonalidade) = 0,2).....	53
Gráfico 7 – Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3).....	53

Gráfico 8 – Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método aditivo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3).....	54
Gráfico 9 – Média Móveis (comprimento = 10): simulação de venda anual de automóveis.....	54
Gráfico 10 – Venda de veículos x Geração de sucatas.....	57

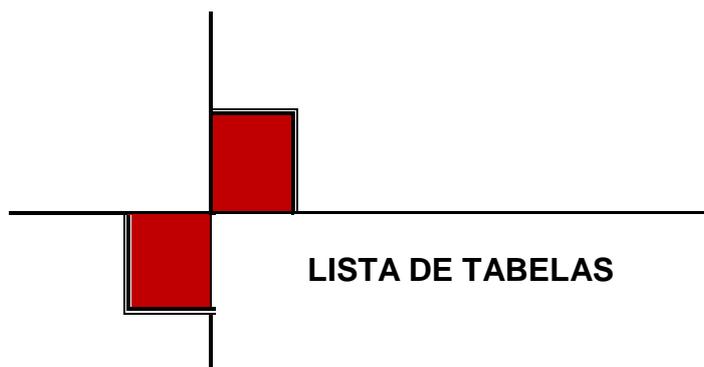
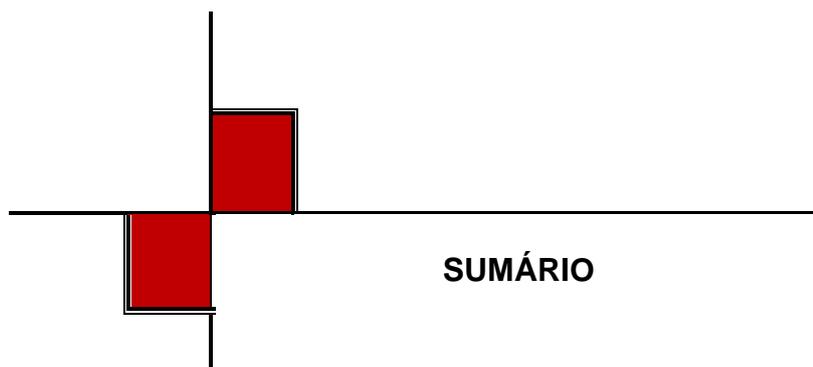


Tabela 1 – Dados da frota veicular.....	32
Tabela 2 – População amostral.....	33
Tabela 3 – Vida-útil média de um acumulador de chumbo-ácido.....	38
Tabela 4 – Série temporal da venda de veículos no Brasil.....	39
Tabela 5 – Termos A e B da série.....	41
Tabela 6 – Série de vendas total, por meses do ano.....	45
Tabela 7 – Valores reais acrescidos a série temporal de venda de veículos..	46
Tabela 8 – Análises da série temporal de venda de veículos.....	48
Tabela 9 – Previsão de venda de carros (Agosto - Dezembro/2015).....	48
Tabela 10 – Série temporal de venda de veículos.....	50
Tabela 11 – Análises da série temporal de venda anual de veículos.....	52
Tabela 12 – Previsão de venda anual de carros (2016 - 2020).....	52
Tabela 13 – Previsões de venda anual de veículos (2016 - 2020), utilizando Médias Móveis.....	55
Tabela 14 – Previsão de sucata de baterias.....	56
Tabela 15 – Estimativa dos montantes anuais de chumbo, polipropileno e solução de ácido sulfúrico gerados com base nas previsões anuais de sucatas de baterias.....	59



ABDI:	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINEE:	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFAVEA:	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CAA:	Centro Acadêmico do Agreste
CIWMB:	Quadro de Gestão Integrada de Resíduos da Califórnia
CONAMA:	Conselho Nacional do Meio Ambiente
BCA:	Bateria de Chumbo-Ácido
DETRAN:	Departamento de Trânsito
ETBC:	<i>Electronics Take Back Coalition</i>
GRS:	Gerenciamento de Resíduos Sólidos
H ₂ SO ₄ :	Solução de Ácido Sulfúrico
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM:	Instituto Brasileiro de Mineração
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO:	<i>International Organization for Standardization</i>
MAD:	Desvio Médio Absoluto
MAPE:	Erro Percentual Médio Absoluto
MDIC:	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

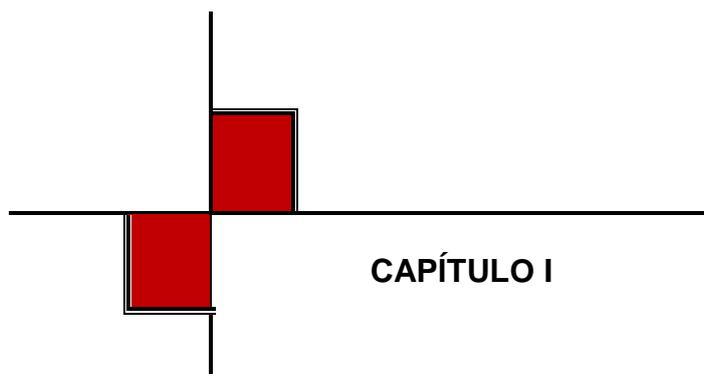
Pb:	Chumbo
PIB:	Produto Interno Bruto
PNRS:	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP:	Polipropileno
REE:	Resíduo Eletroeletrônico
RS:	Resíduos Sólidos
SINDIPEÇAS:	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores
STP:	Substâncias Tóxicas Persistentes
UFPE:	Universidade Federal de Pernambuco



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVOS.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	A BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO.....	22
2.2	TRABALHOS RELACIONADOS AOS REE's EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	VENDA DE AUTOMÓVEIS.....	30
3.2	DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL MÉDIA DE UMA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO.....	31
3.3	SÉRIES TEMPORAIS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	34
3.4	POTENCIAL DE RECICLAGEM DAS SUCATAS.....	36
4	RESULTADOS.....	37
4.1	DETERMINAÇÃO DA VIDA MÉDIA DA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO.....	37

4.2	RESULTADOS DAS VENDAS DE VEÍCULOS.....	38
4.2.1	Teste de tendência - Wald-Wolfowitz.....	41
4.2.2	Teste de sazonalidade - Kruskal-Wallis.....	45
4.2.3	Modelagem da série de venda de carros.....	46
4.3	PREVISÃO DA GERAÇÃO DE SUCATAS DE BATERIAS.....	55
5	CONCLUSÃO.....	61
	REFERÊNCIAS.....	63



CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia vem trazendo enormes benefícios para a sociedade, indubitavelmente. Todavia, dentre os problemas oriundos dos avanços tecnológicos está o aumento da geração dos resíduos sólidos, em função da potencialidade que têm de causar danos ambientais, quando dispostos de maneira inadequada.

Segundo dados divulgados pela *Electronics Take Back Coalition* - ETBC (2014), 50 milhões de toneladas de Resíduos Eletroeletrônicos (REEs) são produzidos por ano, em todo o planeta. No Brasil, este número é de 900 mil toneladas/ano (SIREE, 2014). São tidos como REEs: baterias, computadores, televisores, rádios, celulares, tablets, entre outros. Dentre os resíduos sólidos, os REEs, em especial, são considerados como poluentes de grande impacto ambiental, quando não descartados de maneira correta, haja vista a presença de substâncias químicas e metais pesados em sua composição. Portanto, é necessária uma atenção especial quanto à sua logística reversa e tratamento.

Os REEs, apesar do potencial nocivo ao meio ambiente e à saúde humana, paradoxalmente, podem possuir potencial econômico de alto valor de mercado, devido à existência de uma grande quantidade de metais preciosos, como ouro, cobre e prata (SIREE, 2014).

Nesse sentido, estimar o potencial de geração de REEs configura-se como um relevante passo para se conhecer melhor a realidade e planejar ações que possam fazer uso adequado desses resíduos que, inevitavelmente, são produzidos, de forma cada vez mais crescente, com o avanço tecnológico e, sobretudo, com a popularização do acesso aos produtos dessa tecnologia.

Por todos esses motivos, cada dia mais se torna necessária a criação de metodologias capazes de estimar o potencial de geração de REEs. A grande maioria das estimativas existentes, na atualidade, é baseada na vida útil dos equipamentos em análise, no tamanho do mercado consumidor e, principalmente, por meio da compreensão do comportamento do consumidor. Tais tipos de análises são importantes ainda que por, ao longo do tempo, serem capazes de caracterizar a evolução do comportamento consumista de uma determinada sociedade.

No universo dos REEs, as sucatas de bateria, notadamente as utilizadas em veículos automotores, podem ser vistas como um problema ambiental, dado o potencial tóxico que elas têm, devido a sua composição, mas também como matéria prima com alto valor econômico agregado. Soma-se a isso o fato de que, no mundo inteiro, cada vez mais se produzem baterias, basta ver o quantitativo de automóveis que circulam atualmente e que as utilizam como fonte de energia.

Assim sendo, a geração de sucata de bateria para automóveis configura-se como objeto de estudo de suma importância, visto que pode trazer significativas contribuições para o estudo de impactos ao meio ambiente e para a economia da reciclagem. Diante do exposto, o principal objetivo deste trabalho foi construir um modelo matemático, baseado em séries temporais, para estimar a geração de sucatas de baterias de chumbo-ácido, usando uma combinação de vendas de automóveis e vida útil da bateria.

Para favorecer a melhor compreensão do exposto nesta dissertação, o trabalho foi estruturado em cinco capítulos, conforme descrição a seguir.

O primeiro capítulo traz uma contextualização do problema da geração de resíduos sólidos, notadamente de baterias automotivas, destacando sua importância como objeto de estudo. Em seguida, são apresentados os objetivos geral e específicos da pesquisa.

O segundo capítulo traz a fundamentação teórica, tecida com ideias de autores como Araújo *et al.* (2012), Chang *et al.* (1993), Chang e Li (1997), Chen e Chang (2000), Dwivedy e Mittal (2010), Jabbour *et al.* (2014), Leung *et al.* (2006), Pant (2013), Wath (2011), Zhang *et al.* (2011), dentre outros estudiosos que tratam de questões relacionadas aos REEs, notadamente a bateria de chumbo-ácido.

O terceiro capítulo foca na discussão acerca dos materiais e métodos adotados na pesquisa, dando ênfase na determinação da vida útil média de uma bateria de chumbo-ácido, na venda de carros e nas séries temporais e análises estatísticas.

O quarto capítulo apresenta os resultados do estudo, destacando a determinação da vida média da bateria chumbo-ácido, os resultados das vendas de veículos e a previsão de sucatas de baterias, com seu respectivo potencial de reciclagem.

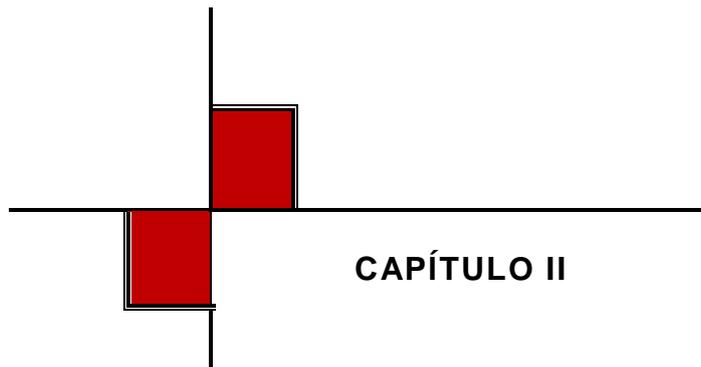
O quinto e último capítulo explicita as conclusões do estudo, sugerindo possíveis contribuições a serem utilizadas por empresas e governo, para o adequado gerenciamento dos resíduos das baterias.

1.1 OBJETIVOS

De modo geral, este estudo se propôs a construir um modelo matemático para a projeção futura de sucatas de bateria, considerando fatores tais como mercado de venda de automóveis (carro passeio) e vida útil das baterias.

Especificamente, teve como objetivos:

- Coletar os dados indicadores sobre as vendas anuais de automóveis, nos últimos 10 anos, para identificação do número de baterias que entraram no mercado juntamente com estes veículos;
- Analisar os indicadores de tempo de vida de quatro marcas diferentes de acumuladores, para obter o tempo de vida útil médio de uma bateria;
- Validar o estudo mediante a elaboração de uma modelagem matemática de previsibilidade;
- Identificar o potencial de reciclagem das sucatas produzidas.



CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Resíduo eletroeletrônico, também conhecido como *e-waste*, é o termo usado para descrever os aparelhos elétricos e eletrônicos inutilizados mediante o seu descarte, devido à quebra e/ou fim de vida útil (Robinson, 2009). Estão aí incluídos desde artigos de informática, até aparelhos de refrigeração, aparelhos telefônicos, e eletrodomésticos. Como eles podem contribuir para a libertação de substâncias tóxicas persistentes em nosso meio ambiente e, portanto, para a rede de alimentação, este tipo de resíduo e o seu ciclo de vida estão emergindo como uma grande preocupação global (Leung *et al.*, 2006).

De acordo com a diretiva 2012/19/EU, que trata dos REEs na Europa, formulada pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia (UNIÃO EUROPÉIA, 2012), tais resíduos são divididos nas seguintes categorias:

- Grandes eletrodomésticos: máquinas de lavar, secadoras, geladeiras, aparelhos de ar condicionado etc.;
- Pequenos eletrodomésticos: aspiradores, máquinas de café, ferros, torradeiras etc.;
- Equipamentos de comunicação e escritório: computadores, *laptops*, celulares, telefones, fax, copiadoras, impressoras etc.;
- Entretenimento e eletrônicos de consumo: televisões, aparelhos de VCR/DVD/CD, conjuntos de Wi-Fi, rádios etc.;
- Equipamento de iluminação: lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de sódio etc.;
- Ferramentas eletroeletrônicas: brocas, serras elétricas, máquinas de costura, cortadores etc.;

- Brinquedos e equipamentos de recreação: trens elétricos, máquinas de moeda, esteiras etc.;
- Instrumentos e equipamentos médicos;
- Equipamentos de controle e vigilância;
- Máquinas automatizadas.

No Brasil, segundo a ABDI (2012), equipamentos eletroeletrônicos são todos os produtos que, de uma forma ou de outra, utilizam corrente elétrica ou campos magnéticos para funcionar, sendo os mesmos divididos em quatro grandes grupos, a saber:

- Linha branca: geladeiras, freezers, máquinas de lavar, fogões, condicionadores de ar e similares (vida útil de 10 a 15 anos);
- Linha azul: pequenos eletrodomésticos como batedeiras, secadores, ferros de passar, multiprocessadores, liquidificadores e similares (vida útil próxima a 10 anos);
- Linha marrom: televisores e projetores dos mais variados tipos e tamanhos, filmadoras, aparelhos de VHS, DVD e *blu-ray* e aparelhos de som (vida útil próxima a 5 anos);
- Linha verde: baterias, microcomputadores, *laptops*, *tablets*, celulares e variações (vida útil de 2 a 3 anos).

O número de produtos eletroeletrônicos produzidos globalmente aumenta continuamente, diariamente, e uma quantidade enorme deles torna-se obsoleta rapidamente, o que ratifica a necessidade de uma boa gestão (WATH *et al.* 2011; ZHANG *et al.* 2011).

Em função da complexidade do problema da contaminação e do aumento considerável da produção, consumo e consequente descarte de eletroeletrônicos, foi necessária a elaboração de leis específicas. No Brasil, no dia 5 de agosto de 2010, foi aprovada a Lei Federal nº 12.305 referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que obriga a dar-se destinação adequada para, dentre outros, os resíduos eletroeletrônicos, com base nos conceitos de responsabilidade compartilhada, ciclo de vida do produto e da logística reversa para vários setores. Segundo esta Lei, produtores e autoridades governamentais devem preparar planos que ofereçam diagnóstico da situação, elaborando

políticas que incentivem à redução, reutilização e reciclagem, estabelecendo metas para diminuir a disposição em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

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).

Dentre a diversidade de resíduos eletroeletrônicos, as baterias de chumbo-ácido, em especial, são consideradas como poluente de grande impacto ambiental, quando não descartadas de maneira correta, necessitando, dessa maneira, de uma atenção especial quanto à sua logística reversa e tratamento.

2.1 A BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

A bateria de chumbo-ácido é responsável por fornecer energia para que o veículo comece a funcionar, dando a partida do motor e alimentando alguns de seus acessórios, sendo considerado item fundamental para o funcionamento de carros, motos e embarcações, entre outros (INMETRO, 2012). Segundo a empresa MOURA (2015), apesar da sua importância para o bom funcionamento dos meios de transporte, a sucata de bateria é um resíduo extremamente tóxico para o meio ambiente, quando não descartado de maneira correta, haja vista ser composta por metais pesados, como o chumbo (Pb), solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é uma solução eletrolítica corrosiva, além de componentes plásticos de difícil degradação natural (Polipropileno).

O Quadro de Gestão Integrada de Resíduos da Califórnia - CIWMB (2000) chama a atenção para o fato de que o contato com a solução de ácido sulfúrico pode levar a irritações ou queimaduras na pele, ou irritação às membranas e mucosas dos olhos ou do sistema respiratório superior. Já os sintomas da exposição ao chumbo de baixo nível incluem fadiga, disfunções do sistema nervoso central e déficit de aprendizagem. Enquanto que o envenenamento por chumbo grave pode resultar em coma, convulsões, retardo mental irreversível, convulsões e até a morte.

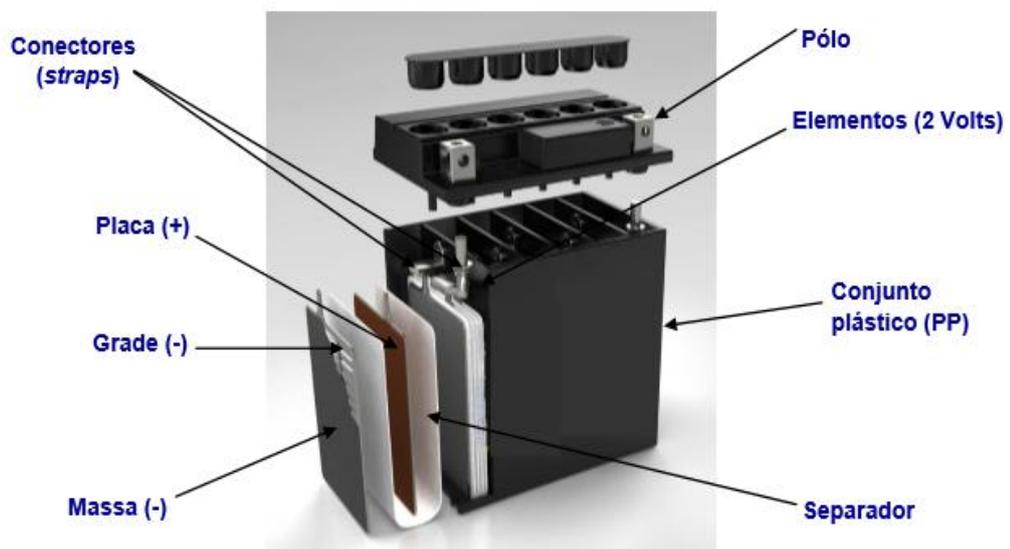
As baterias de chumbo-ácido (BCAs) são os dispositivos mais comuns utilizados em automóveis. Apesar de carros elétricos e híbridos poderem utilizar outras tecnologias, e também de as BCAs terem ciclos de vida curtos, de acordo

com Van Den Bossche (2006), o chumbo-ácido representa o par mais antigo e mais conhecido eletroquimicamente, dominando o mercado de acumulação para automóveis devido ao seu baixo custo, em comparação com outros tipos de baterias.

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;
- Polo positivo e negativo - peças de chumbo que desempenham a função de terminais positivo e negativo da bateria, respectivamente.

Figura 1: Composição de uma bateria



FONTE: Adaptado do acervo da Moura, por Cabral Neto (2015)

A indústria de BCAs da China é a maior do mundo, em termos de produção e consumo, abrangendo cerca de um terço da produção total (VAN DER KUIJP *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2012). A indústria de baterias brasileira está concentrada na produção de BCAs para o segmento automotivo (89,9%) (IBRAM, 2008). O aumento na produção e venda dessas baterias acompanha, desta maneira, a tendência de venda de veículos.

No Brasil, a produção e a venda de veículos (incluindo mercados estrangeiros) cresceu 30% e 40%, respectivamente, entre os anos de 2005 e 2010 (IBGE, 2008).

Apesar da crise econômica global de 2008, a tendência de alta nas vendas de automóveis foi mantida, principalmente devido a uma redução nos impostos de fabricação oferecidos pelo governo brasileiro de 2008 a 2013. Como o Brasil participa do mercado de exportação de baterias, padrões internacionais de qualidade e normas ISO para a proteção do meio ambiente devem ser seguidos, principalmente porque se trata de um produto classificado como perigoso e seu comércio internacional é controlado pela Convenção de Basileia (1989).

A Resolução CONAMA 401/2008 (CONAMA, 2008) não permite a deposição em aterro ou incineração de BCAs sem um tratamento prévio (exemplo: neutralização do ácido e separação das partes). A PNRS (Brasil, 2010) requer que os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores de baterias tenham implementado sistema de logística reversa mediante a devolução do produto, após o uso pelo consumidor. Já a NBR ISO 16.156 (ABNT, 2013) normatiza as atividades da cadeia de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos e estabelece requisitos que permitem o desenvolvimento de competências para a estruturação de um sistema de gestão voltado ao controle e mitigação das ocorrências de agressões ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos nos processos de reciclagem de REEs.

De acordo com Jabbour *et al.* (2014), esta exigência da PNRS influi amplamente em toda cadeia de gerenciamento desses resíduos, revelando oportunidades e lições a serem aprendidas. No entanto, apesar da legislação restritiva, muitas baterias são recolhidas e depositadas em aterros e em lixões, como os resíduos sólidos urbanos comuns. Apenas um pequeno número de fabricantes oferece sistemas de coleta destinados à logística reversa,

principalmente as que exportam baterias. Como muitas baterias são importadas, principalmente da China, a logística reversa torna-se ainda mais difícil.

A estimativa da geração futura de sucatas de baterias é uma questão crucial para o estabelecimento de um sistema de coleta e reciclagem de resíduos eficiente (Zhang *et al.*, 2011). Informações sobre a geração de baterias obsoletas é muito importante para a tomada de decisões na gestão de resíduos, logística reversa e reciclagem de BCAs, a fim de alcançar os objetivos da PNRS brasileira.

Apesar de a bateria de chumbo-ácido ser um aparato extremamente nocivo ao meio ambiente e a saúde humana e de outros seres vivos, na prática, sua sucata tem um alto valor de mercado, visto que a mesma pode ser 100% reciclada e reutilizada como insumo para a fabricação de novas baterias (CSPOWER, 2009).

No processo mais comum de reciclagem de acumuladores, após a coleta, os mesmos são encaminhados para o processo de trituração. Após o trituramento da sucata de bateria, todo material triturado é colocado em um tanque cheio de água, para promover a separação dos componentes. Toda parte metálica, constituída basicamente por chumbo, vai para o fundo do tanque devido ao peso. Os componentes plásticos ficam boiando na superfície e a solução ácida é diluída na água do reservatório.

Dado o processo de separação dos componentes, o chumbo pode ser encaminhado para uma metalúrgica para ser purificado e reaproveitado, como matéria prima. O plástico poderá ser transformado em *pellets*, voltando para o processo de injeção plástica, e a solução ácida pode ser neutralizada e utilizada como água industrial para a lavagem de vias, descarga em sanitários, etc.

Partindo-se do princípio de que, tanto pelo aspecto ambiental, quanto pelo aspecto econômico, se faz necessário haver a reciclagem das baterias de chumbo-ácido. Para tanto, enxerga-se a necessidade de se ter previsibilidade da geração de sucatas de baterias nos anos futuros como forma de direcionar a tomada de decisão da administração pública e das indústrias recicladoras, principalmente quanto à necessidade de ampliação ou não de suas estruturas de reciclagem, dada a demanda de baterias que está por vir, bem como quanto aos aspectos de gerenciamento e logística reversa destas sucatas.

Portanto, tendo em vista que este trabalho objetiva construir um modelo matemático baseado em séries temporais para estimar a geração de sucatas de BCAs, é importante afirmar que a modelagem de séries temporais tem sido bastante utilizada em trabalhos semelhantes que lidam com a gestão de resíduos como mostram os trabalhos de Navarro-Esbri *et al.* (2002), Chang e Lin (1997), Chang *et al.* (1993) e Chen e Chang (2000). Além disso, este trabalho contribui para o aprimoramento da gestão dos REEs local, uma vez que esta questão ainda se encontra sub explorada no Brasil, devido à falta de dados empíricos.

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS AOS REEs EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

De acordo com Araújo *et al.* (2012), as vendas de equipamentos elétricos e eletrônicos estão aumentando drasticamente nos países em desenvolvimento e, devido a isso, esses países ainda não detêm dados confiáveis sobre as quantidades de resíduos gerados. Além disso, como afirma Pant (2013), os países em desenvolvimento enfrentam problemas muito maiores relacionados aos REEs, quando comparados a países desenvolvidos, devido a vários fatores, tais como: (i) atualização tecnológica, quer a partir de avanços ou importações, tornando obsoletos produtos com tecnologias mais antigas; (ii) aumento da produção de produtos eletrônicos; e (iii) recebimento de REEs vindos de países desenvolvidos (Leung *et al.*, 2006).

Resumidamente, duas questões são principalmente apresentadas na literatura de REEs de países em desenvolvimento: as dificuldades de obtenção de dados e as possíveis maneiras de se estimar a geração e contaminação ambiental por equipamentos elétricos e eletrônicos.

Pant (2013) propõe uma abordagem simples para projeções futuras de lixo eletrônico, que foi obtida usando dados da vida útil de vários artigos eletrônicos e incorporando estatísticas de população na Índia.

Wath *et al.* (2011) apresentam vários desafios para a gestão dos resíduos eletrônicos na Índia, a saber: composição dos resíduos; categorização; cenários global e local; perspectivas de materiais recuperáveis, recicláveis e perigosos encontrados nos resíduos; melhores práticas disponíveis; processos de

reciclagem e de beneficiamento; e os riscos ambientais e ocupacionais envolvidos em todo o processo.

Dwivedy e Mittal (2010) constroem uma abordagem e uma metodologia para estimar a geração futura de REEs na Índia. Esses autores utilizam conceitos de séries temporais, tempo de vida útil, e modelagens de ciclos de vida para estimar as quantidades atuais e futuras de REEs naquele país.

Como a China é um dos maiores do mundo, em termos de produção e consumo de eletroeletrônicos, muitos trabalhos estão focados neste país. Por exemplo, um modelo para a previsão de geração de REEs para a cidade de Pequim, China, é apresentado por Liu *et al.* (2006). O modelo é baseado no método de abastecimento do mercado e dados de pesquisa sobre a relação de obsolescência dos produtos a partir de 2005.

Yang *et al.* (2008) por sua vez, identificaram as fontes de geração de REEs na China e calcularam os respectivos volumes associados a estes resíduos. Os resultados mostram que, para um tratamento adequado dos resíduos, a capacidade de reciclagem deve aumentar para atender a quantidade crescente de REEs domésticos produzidos.

Ainda, Widmer *et al.* (2005) apresentaram uma visão geral do problema relacionado aos REEs, incluindo a sua caracterização e métodos para estimar sua geração. Eles também analisaram as limitações destes métodos, que foram originalmente desenvolvidos para os países industrializados e as particularidades, quando se analisa os países em desenvolvimento, como China, Índia e África do Sul.

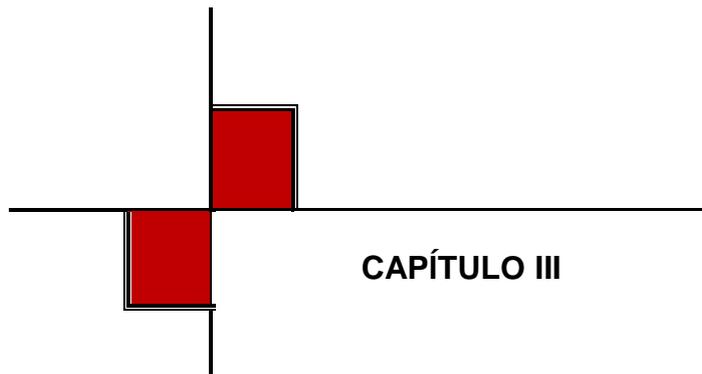
Também Zhang *et al.* (2011) descrevem um modelo para prever a geração de resíduos eletrônicos, com base em informações de ações investigativas em domicílios. O modelo foi aplicado a uma análise de previsão das quantidades de equipamentos eletrônicos domiciliares obsoletos de 2009 a 2050, em Nanjing, China. Os resultados mostram que um total de cerca de 76 milhões de unidades (2,8 milhões de toneladas) de equipamentos obsoletos serão gerados em Nanjing, durante os próximos 40 anos.

Finalmente, Leung *et al.* (2006) identificam as fontes de geração e quantificam os níveis de poluição devido aos REEs produzidos em Guiyu,

província de Guangdong, China, tratando ainda dos potenciais impactos sobre o meio ambiente e a saúde humana.

Apesar de se configurar como um mercado em rápida expansão (reciclagem de eletroeletrônicos) e relevância, em países em desenvolvimento, poucos trabalhos têm sido realizados no Brasil relativo aos REEs, talvez devido à sua falta de dados empíricos confiáveis. Por exemplo, Araújo *et al.* (2012) descrevem brevemente o atual sistema de gerenciamento de REEs no Brasil e apresentam uma estimativa atualizada da geração desses resíduos, considerando os dados disponíveis limitados do Brasil, enquanto Zanghelini *et al.* (2014) tiveram como objetivo avaliar os impactos ambientais de um compressor de ar no Brasil.

Os estudos acima citados forneceram importantes dados e informações para este trabalho de pesquisa. Todavia, essa revisão da literatura também demonstra a grande lacuna ainda existente nessa área, sobretudo no Brasil.



CAPÍTULO III

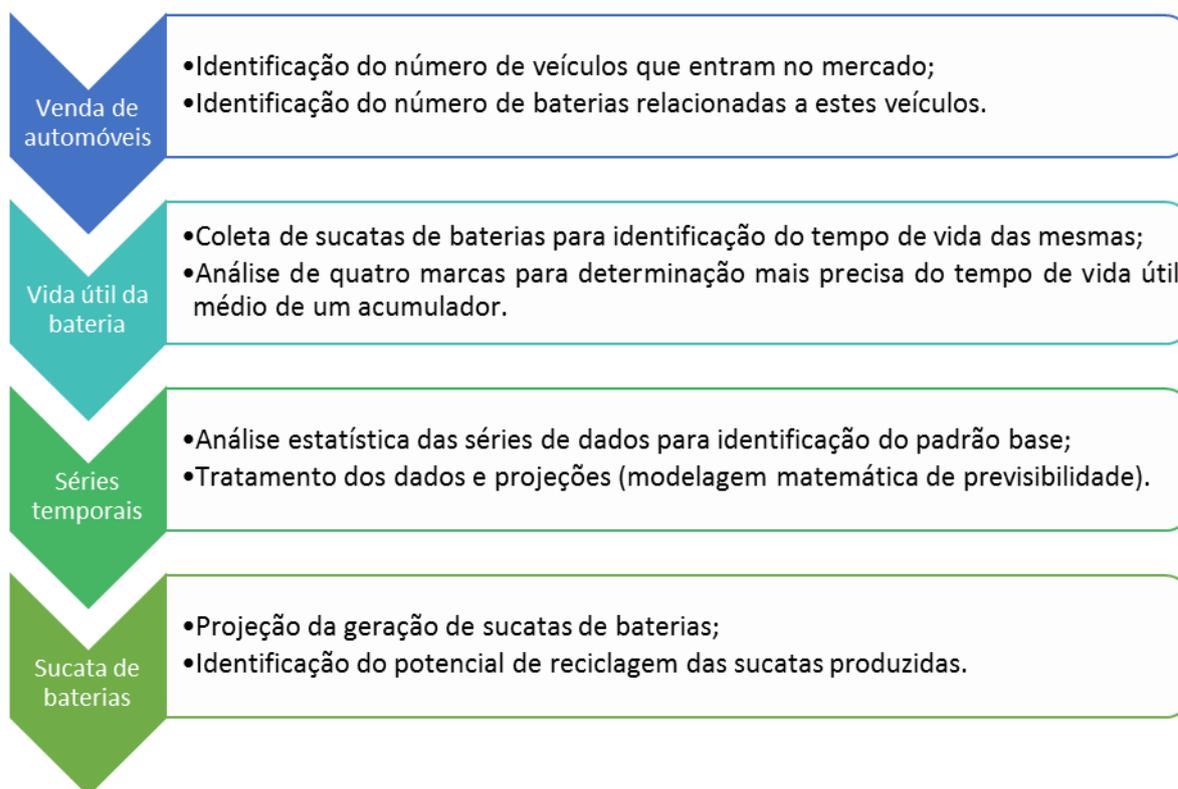
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho de pesquisa aplicada e objetivo explicativo, os métodos utilizados para o tratamento dos materiais têm como principais embasamentos teóricos as ideias apresentadas nos estudos referenciados no capítulo II.

Procurando ampliar essas visões, fazendo uso adequado das teorias e buscando responder aos objetivos da pesquisa, no processo de tratamento dos dados, os materiais e métodos apresentados neste capítulo dialogaram também com outros estudos, trazendo as especificidades deste.

Para um melhor entendimento da metodologia seguida, observa-se o fluxograma abaixo (Figura 2) que, no decorrer do capítulo, será detalhado através de cada um dos itens.

Figura 2: Fluxograma metodológico



FONTE: o autor

3.1 VENDA DE AUTOMÓVEIS

Fiore *et al.* (2012), com base em dados estatísticos fornecidos pelo Parlamento da União Europeia, estimaram a vida média dos veículos automotores entre 10 e 12 anos, na União Europeia. Além disso, Funazaki *et al.* (2003) relatam que os veículos, no Japão, são utilizados por aproximadamente 10 anos. Já nos Estados Unidos, a vida útil dos automóveis foi estimada em de 11,5 anos, em 2014 (Davis *et al.*, 2015).

No Brasil, um veículo é considerado muito velho (sucata) quando já não se faz mais necessário licenciá-lo através do Departamento de Trânsito (DETRAN). No entanto, este tempo é arbitrado pelo DETRAN de cada estado da Federação, variando entre de 10 e 20 anos. Assim, devido à falta de dados empíricos confiáveis para o Brasil, tendo em conta os estudos acima mencionados, e a fim de formular um modelo matemático mais abrangente, foi assumido por este trabalho que a vida útil dos carros é de 10 anos.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) é a entidade que reúne as empresas fabricantes de autoveículos (automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus) e máquinas agrícolas (tratores de rodas e de esteiras, colheitadeiras e retroescavadeiras) com instalações industriais e produção no Brasil. Dentre as principais atribuições desta entidade estão: estudar temas da indústria e do mercado de autoveículos e compilar e divulgar dados de desempenho do setor.

Sabendo-se disso e adotando-se o pressuposto de que a vida média de um veículo de passeio é de 10 anos, a partir de dados coletados e divulgados pela ANFAVEA, quanto à quantidade de veículos licenciados anualmente no Brasil, foi montado um banco de dados contendo o número de veículos de passeio, ditos leves, mês a mês, nos últimos 10 anos (Jan/2005 à Dez/2014). Com isto, possibilitou-se obter de maneira indireta e aproximada, a quantidade de baterias existentes no mercado hoje, para esses tipos de veículos.

3.2 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL MÉDIA DE UMA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

Para a estimativa da vida média de uma bateria de chumbo-ácido, a mais comumente utilizada em veículos de passeio, foram coletadas baterias no seu final de vida útil e, em seguida, foi calculada a diferença entre a data de falha da bateria e a data de fabricação impressa em seus rótulos.

Para avaliar a representatividade de Recife, no Brasil, como ponto de coleta das baterias, foram levantados dados estatísticos da população de veículos de ambos. A Tabela 1 mostra a relação entre a amostra populacional de carros (Recife) e a população total de automóveis no Brasil. Os dados referem-se ao ano de 2014.

Tabela 1- Dados da Frota Veicular

DADOS DA FROTA		
Quantidade de Veículos	Brasil	Recife
Frota Total	32.108.012	830.621
Veículos de Passeio	31.015.634	799.718
% Veículos Leves	96,60%	96,28%
% da Frota Total	Brasil	Recife
Frota Total	32.108.012	2,59%
Veículos Leves	31.015.634	2,58%

FONTE: Sindipeças (2014)

As percentagens da amostra (Recife) foram quase iguais às percentagens do total da população (Brasil). Dada tal similaridade, pode-se dizer que a amostra utilizada para este estudo representa a realidade do Brasil, podendo este trabalho ter seus resultados generalizados para todo o país.

Para determinação da quantidade de baterias a serem coletadas para análise da vida útil, utilizou-se a Equação 01, que na estatística, é largamente utilizada para o cálculo de populações amostrais (TRIOLA, 1999).

$$n = \frac{\left(\frac{Z_{\alpha/2}}{d}\right)^2 p(1-p)}{1 + \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{d}\right)^2 p(1-p) / N} \quad \text{Equação 01}$$

Em que,

- n é o tamanho da amostra;
- N é o tamanho da população;
- $\alpha = 5\%$, para um grau de confiança de 95%;
- p é a proporção populacional de cada variável em estudo. Porém, sendo esta proporção desconhecida, foi considerado o valor mais desfavorável de 0,5 (que conduz à maior variância);
- d é a margem de erro tolerável de, neste caso, cinco pontos percentuais (acima ou abaixo das proporções obtidas nas sondagens);

- $Z_{\alpha/2}$ é o valor da distribuição normal referente ao nível de significância escolhido ($\alpha = 5\%$), cujo valor é 1,96.

Baseado nos dados da Tabela 1, a Tabela 2 mostra o cálculo de obtenção do número amostral de baterias utilizado para determinação da vida útil média de um acumulador de chumbo-ácido. Assim, temos:

Tabela 2 - População Amostral

DEFINIÇÃO DA POPULAÇÃO AMOSTRAL	
d (margem de erro)	5%
p (proporção populacional)	50%
$Z_{\alpha/2}$	1,96
<hr/>	
População	Recife
N (tamanho da população)	830.621
p(1-p)	0,25
$[(Z_{\alpha/2})/d]^2$	1536,64
n (tamanho da amostra)	384

FONTE: o autor

Para fins de obtenção de números mais assertivos, foi realizado um comparativo entre o tempo de vida útil de quatro marcas distintas, aqui designadas como marcas A, B, C e D. Desta maneira, foram seguidos os seguintes passos:

- As baterias foram coletadas em um depósito de sucatas de Recife/PE que recebe sucatas vindas de todo o Brasil;
- A população amostral para cada uma das quatro análises foi 384 amostras a fim de garantir uma margem de erro de $\pm 5\%$ (nível de confiança = 95%). Abaixo desse valor, a margem de erro cresce, conforme demonstrado anteriormente para a população de veículos de Recife (cidade na qual as coletas foram realizadas);
- Depois de coletadas 384 baterias de cada uma das quatro marcas, foi feita a diferença entre a data de fabricação expressa no rótulo da bateria e a data de sua falha, estimando-se assim, uma média de tempo de vida útil de cada marca;

- Posteriormente, para determinação do tempo de vida médio de uma bateria de chumbo-ácido, foi feita a média entre o tempo de vida útil das quatro marcas.

3.3 SÉRIES TEMPORAIS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A partir dos dados relativos à quantidade de veículos no mercado, e da vida média útil de um acumulador, pode-se estimar a quantidade de geração de sucata de baterias utilizando-se técnicas e análises estatísticas. Neste caso, a série temporal primária é constituída pelos dados coletados de venda de veículos (Jan/2005 à Dez/2014).

A modelagem de séries temporais refere-se ao processo de construção de um modelo de uma variável medida, repetidamente, ao longo de um período de tempo. Modelos de séries temporais não são criados para explicar ou medir os fatores causais subjacentes ao comportamento da variável analisada. Pelo contrário, eles são projetados para explorar padrões de movimentos passados, a fim de prever o comportamento futuro (PINDYCK; RUBINFELD, 1998).

No entanto, antes de partir para as técnicas de modelagens da série temporal, necessitou-se primeiramente avaliar o comportamento dos dados para identificação quanto à influência de fatores externos sobre o comportamento da série. Na área da Engenharia e Estatística, uma série temporal é tida como uma coleção de observações feitas sequencialmente, ao longo do tempo (FULGÊNCIO, 2007).

Por serem observações obtidas em ordem cronológica, é importante observar a existência de fatores externos que possam vir a influenciar o comportamento da série de dados. Uma vez que as observações vizinhas podem ser dependentes, faz-se necessário analisar e modelar essa dependência, observando-se se a série é, ou não, estacionária.

Os principais fatores externos analisados foram a Tendência e Sazonalidade. Compreende-se por Tendência o comportamento de longo prazo da série, que pode ser causado pelo crescimento demográfico, ou mudança gradual de hábitos de consumo, ou qualquer outro aspecto que afete a variável de interesse no longo prazo. Já a Sazonalidade corresponde às flutuações nos

valores da variável com duração inferior a um ano, e que se repetem todos os anos, geralmente em função das estações do ano, feriados, festas populares, ou por exigências legais, como o período para entrega da declaração de Imposto de Renda. Para tal análise, dentre os diversos métodos de identificação existentes, devido as suas simplicidades de cálculo e precisões, foram utilizados os Testes de *Wald-Wolfowitz* e *Kruskal-Wallis* (TRIOLA, 1999).

O teste não-paramétrico de *Wald-Wolfowitz* serve para verificar a aleatoriedade de uma sequência de dados. No caso de séries temporais, o mesmo é utilizado para testar se a série possui ou não tendência. Já o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* serve para verificar a periodicidade de uma sequência de dados. No caso de séries temporais o mesmo é utilizado para testar se a série possui ou não sazonalidade.

Verificada a não estacionaridade da série, segundo o teste de Ljung-Box, havendo tanto Tendência quanto Sazonalidade, existem vários modelos de suavização que podem ser utilizados em dados de séries temporais. No entanto, uma vez que o objetivo do presente estudo foi a construção de modelos de previsão de curto prazo quanto à geração de sucatas de baterias, utilizaram-se modelos de suavização exponencial.

De acordo com Morettin e Tolo (2006), estes modelos são alguns dos mais populares e utilizados devido à sua simplicidade, eficiência computacional e precisão razoável.

Suavização exponencial - como proposto por Brown e Holt (1950) - é um método de previsão que isola a sazonalidade da variação irregular (MCKENZIE, 1984). Técnicas específicas de suavização exponencial assumem que valores extremos da série representam padrão aleatório; Assim, através da suavização destes extremos, pode-se identificar o padrão de base (MORETTIN; TOLOI, 2006).

A suavização exponencial atribui pesos exponenciais, diminuindo o peso à medida que os dados da série se tornam mais antigos (YAFFEE; MCGEE, 2000). Assim, é atribuído mais peso para os dados mais recentes do que para os mais antigos.

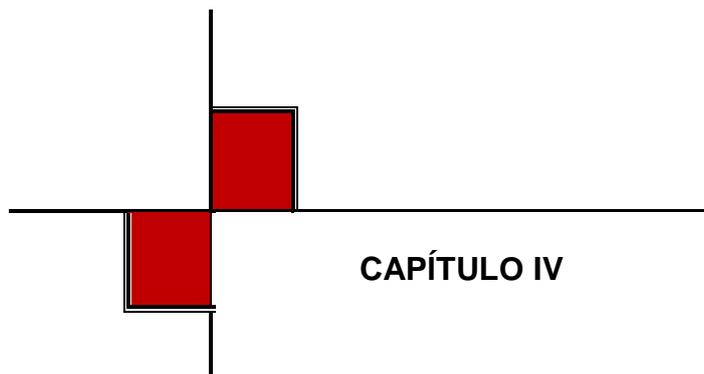
Para a análise das sucatas de baterias, foram analisados três modelos de suavização exponencial, que forneceram os melhores ajustes para os dados: os

modelos aditivo e multiplicativo de *Holt-Winters* e o modelo sazonal simples. Os modelos de *Holt-Winters* produzem três valores suavizados: α (nível), β (tendência) e γ (ajuste sazonal). O modelo sazonal simples, por outro lado, é projetado para dados sem tendência, mas com uma variação sazonal constante ao longo do período de tempo. O modelo sazonal simples tem dois parâmetros de suavização: α (nível) e γ (ajuste sazonal para a previsão).

Entendida e modelada toda série de dados e levando-se em conta a vida útil média de um acumulador, análises estatísticas foram realizadas, em ambientes de Minitab 17 Statistical Software[®] (versão estudante) e Excel[®], baseado na escolha do método de modelagem que apresentou menor erro, dentre as hipóteses analisadas, determinando assim, a geração futura de sucatas de baterias, em um horizonte de cinco anos.

3.4 POTENCIAL DE RECICLAGEM DAS SUCATAS

A partir da projeção da quantidade de sucatas produzidas, e tomando por base as especificações técnicas do modelo de bateria automotiva mais vendido do Brasil, a bateria de 60Ah, foi calculada a respectiva quantidade de chumbo, polipropileno e solução de ácido sulfúrico que serão geradas nos próximos cinco anos, mensurando assim, os materiais provenientes da sucata de bateria que poderão ser recuperados e reutilizados na cadeia produtiva, prevendo ainda, os impactos ambientais decorrentes do lançamento inadequado desses componentes no ambiente.



4 RESULTADOS

Neste capítulo, os resultados da pesquisa são apresentados em três seções. A primeira apresenta a análise dos dados referentes à vida média da bateria de chumbo-ácido. Na segunda, com base no teste de tendência de *Wald-Wolfowitz*, no teste de sazonalidade de *Kruskal-Wallis* e na modelagem da série de venda de carros, são explicitados os dados relativos aos resultados de venda de veículos. Na terceira, é discutida a previsão da geração de sucatas de baterias.

4.1 DETERMINAÇÃO DA VIDA MÉDIA DA BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO

A partir da definição da população amostral para um grau de confiança de 95%, foram coletadas 384 baterias de cada uma das quatro marcas analisadas, aqui designadas como marcas A, B, C e D. Todas as baterias foram coletadas em um depósito de sucatas situado em Recife/PE, depósito este que recebe sucatas vindas de todo o Brasil.

Além do fato de o depósito escolhido receber baterias vindas de todo o Brasil, é importante observar o fato de que a proporção da frota de veículos leves, em relação à frota total de veículos de Recife, é percentualmente similar a essa mesma relação considerando-se a frota total do país, sendo de 96,28% e 96,6%, respectivamente, fazendo com que o estudo possa ser considerado em termos de Brasil, sem representar perdas significativas de veracidade, dada a similaridade amostral entre Recife e Brasil, conforme já abordado anteriormente.

Após captação do material, foi feita uma análise de vida útil de cada uma das baterias, subtraindo-se as datas de falha das mesmas das datas de fabricação impressas em seus rótulos. Após isto, foi feita a média de vida útil, por marca e, em seguida, a média da vida útil das quatro marcas, caracterizando assim, o tempo de vida útil médio de um acumulador de chumbo-ácido para veículos leves. Os resultados obtidos podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Vida útil média de um acumulador de chumbo-ácido

Marcas	Vida-Útil Média (meses)
A	42
B	40
C	35
D	32
Média	37,25
<hr/>	
Vida-Útil da Bateria (anos)	
3	

FONTE: o autor

Assim sendo, pode-se concluir que a vida útil média de uma bateria de chumbo-ácido é de três anos.

4.2 RESULTADOS DAS VENDAS DE VEÍCULOS

Considerando que, para cada carro novo produzido e comercializado no Brasil, há sempre a produção de uma bateria, aparato utilizado para dar a partida dos veículos, para determinação do quantitativo de baterias inseridas no mercado, coletou-se através de publicações feitas pela ANFAVEA, o número de veículos licenciados mês a mês, a partir de janeiro de 2005, até dezembro de 2014, conforme Tabela 4.

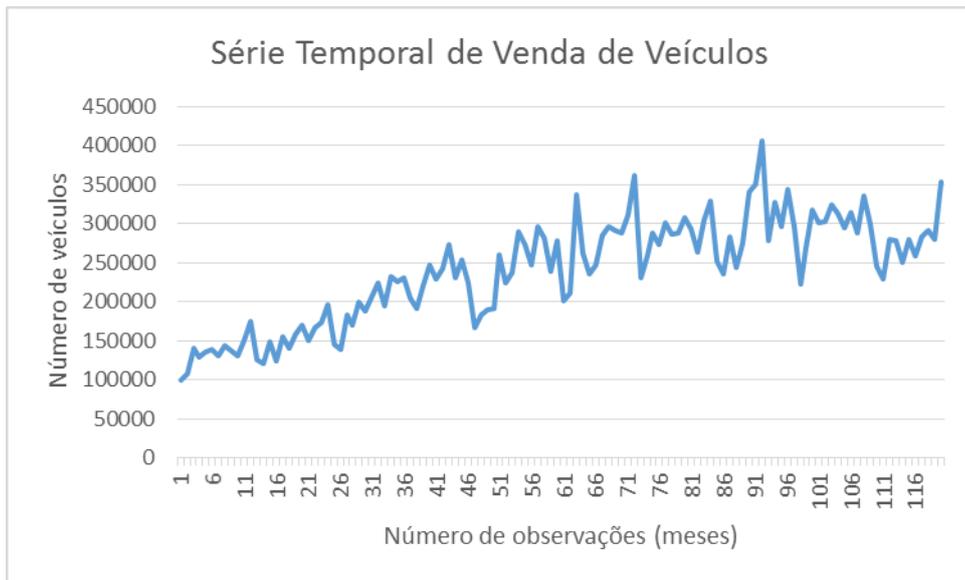
Tabela 4 - Série temporal da venda de veículos no Brasil.

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Jan	99.662	125.827	145.405	205.384	189.722	201.709	230.162	252.672	297.189	300.105
fev	107.873	121.487	139.560	191.155	191.352	211.358	258.813	235.845	222.731	246.138
mar	140.601	148.227	183.702	220.884	260.929	337.352	288.733	283.789	268.589	229.128
abr	129.161	124.457	170.017	247.938	224.385	261.877	272.916	244.589	316.983	280.122
mai	135.065	155.556	200.202	229.956	237.394	235.743	300.529	274.299	300.943	278.409
jun	139.792	140.872	188.697	242.850	289.788	247.489	286.924	340.619	303.084	251.014
jul	130.513	157.979	206.270	272.952	273.597	285.224	287.966	351.228	324.297	280.191
ago	143.345	169.934	223.835	231.053	247.514	296.605	308.035	405.478	313.005	259.491
set	136.809	151.195	194.071	254.166	296.661	291.436	293.585	277.685	294.417	282.884
out	130.616	166.795	232.508	224.725	281.279	287.596	263.770	327.031	313.877	291.813
nov	150.962	174.011	225.789	166.265	238.424	311.407	305.194	297.081	288.547	280.160
dez	175.441	195.944	231.174	183.861	277.822	361.233	329.204	343.867	336.233	354.024

FONTE: ANFAVEA (2015)

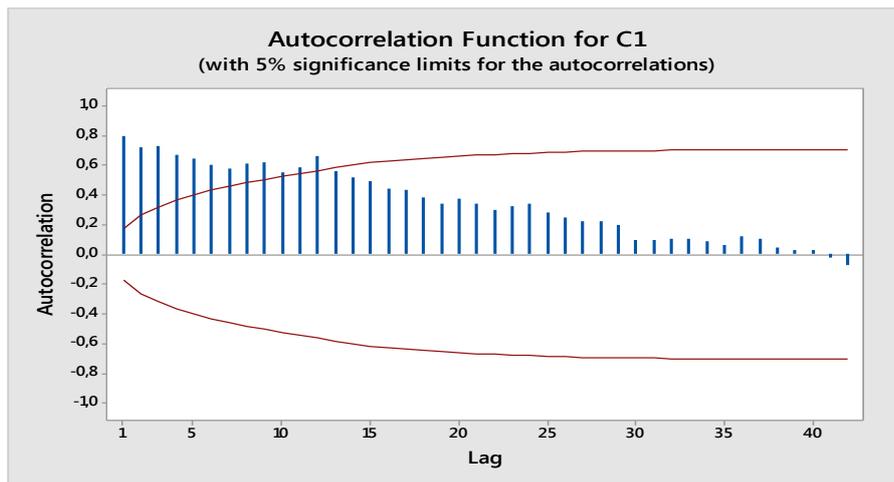
No Gráfico 1 pode-se observar o comportamento da série temporal, enquanto que o Gráfico 2 apresenta a função de autocorrelação dos dados. Esta série de dados é não estacionária, de acordo com o teste Ljung-Box. Segundo o teste, uma série pode ser considerada não-estacionária, quando, na função de autocorrelação da série, há padrão de decaimento lento para zero. A fim de obter o estado estacionário, algumas transformações foram realizadas nos dados de vendas dos carros, ou seja: primeira, segunda e terceira diferenças, além de transformação logarítmica. Nenhuma dessas transformações conseguiu tornar a série estacionária. Assim, de acordo com o princípio da parcimônia – adoção de métodos mais simples – o método de suavização exponencial foi utilizado para analisar esta série. Isto também se justifica porque o objetivo foi realizar a previsão para curto prazo.

Gráfico 1 - Venda de veículos de Jan-05 a Dez-14



FONTE: o autor

Gráfico 2 - Função de autocorrelação da série de venda de automóveis



FONTE: o autor

Dada a não estacionaridade da série, se faz necessário avaliar a existência de tendência e/ou sazonalidade para que, com essa caracterização, possa se utilizar o método de previsibilidade mais coerente.

Para análise de tendência optou-se por utilizar o teste não-paramétrico de *Wald-Wolfowitz*. E, para análise de sazonalidade optou-se por utilizar o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis*.

4.2.1 Teste de Tendência - *Wald-Wolfowitz*

Abaixo se pode verificar a memória de cálculo com a qual se pode comprovar a existência de tendência da série temporal:

$$M \text{ (média da série de veículos vendidos)} = 239.797,8 \text{ veículos/mês}$$

É chamado de A, o termo da série com valor superior ao de M, e de B o termo da série com valor inferior ao de M. Na tabela que segue, para definição do total de sequências da série (T), dado pelo somatório das alternâncias entre letras A e B, será contabilizada cada mudança de B para A, ou de A para B. Assim, temos:

Tabela 5 - Termos A e B da série

Dados	Qtde de veículos	Termos A e B	Alternância
1	99.662	B	1
2	107.873	B	0
3	140.601	B	0
4	129.161	B	0
5	135.065	B	0
6	139.792	B	0
7	130.513	B	0
8	143.345	B	0
9	136.809	B	0
10	130.616	B	0
11	150.962	B	0
12	175.441	B	0
13	125.827	B	0
14	121.487	B	0
15	148.227	B	0
16	124.457	B	0
17	155.556	B	0
18	140.872	B	0
19	157.979	B	0
20	169.934	B	0
21	151.195	B	0
22	166.795	B	0
23	174.011	B	0
24	195.944	B	0
25	145.405	B	0

26	139.560	B	0
27	183.702	B	0
28	170.017	B	0
29	200.202	B	0
30	188.697	B	0
31	206.270	B	0
32	223.835	B	0
33	194.071	B	0
34	232.508	B	0
35	225.789	B	0
36	231.174	B	0
37	205.384	B	0
38	191.155	B	0
39	220.884	B	0
40	247.938	A	1
41	229.956	B	1
42	242.850	A	1
43	272.952	A	0
44	231.053	B	1
45	254.166	A	1
46	224.725	B	1
47	166.265	B	0
48	183.861	B	0
49	189.722	B	0
50	191.352	B	0
51	260.929	A	1
52	224.385	B	1
53	237.394	B	0
54	289.788	A	1
55	273.597	A	0
56	247.514	A	0
57	296.661	A	0
58	281.279	A	0
59	238.424	B	1
60	277.822	A	1
61	201.709	B	1
62	211.358	B	0
63	337.352	A	1
64	261.877	A	0
65	235.743	B	1
66	247.489	A	1
67	285.224	A	0
68	296.605	A	0
69	291.436	A	0
70	287.596	A	0

71	311.407	A	0
72	361.233	A	0
73	230.162	B	1
74	258.813	A	1
75	288.733	A	0
76	272.916	A	0
77	300.529	A	0
78	286.924	A	0
79	287.966	A	0
80	308.035	A	0
81	293.585	A	0
82	263.770	A	0
83	305.194	A	0
84	329.204	A	0
85	252.672	A	0
86	235.845	B	1
87	283.789	A	1
88	244.589	A	0
89	274.299	A	0
90	340.619	A	0
91	351.228	A	0
92	405.478	A	0
93	277.685	A	0
94	327.031	A	0
95	297.081	A	0
96	343.867	A	0
97	297.189	A	0
98	222.731	B	1
99	268.589	A	1
100	316.983	A	0
101	300.943	A	0
102	303.084	A	0
103	324.297	A	0
104	313.005	A	0
105	294.417	A	0
106	313.877	A	0
107	288.547	A	0
108	336.233	A	0
109	300.105	A	0
110	246.138	A	0
111	229.128	B	1
112	280.122	A	1
113	278.409	A	0
114	251.014	A	0
115	280.191	A	0

116	259.491	A	0
117	282.884	A	0
118	291.813	A	0
119	280.160	A	0
120	354.024	A	0

FONTE: o autor

Sendo N_A a quantidade de termos A, N_B a quantidade de termos B, N a quantidade de dados da série e T o total de sequências, dado pelo somatório das alternâncias da série, temos:

$$\begin{aligned} N_A &= 64 \\ N_B &= 56 \\ N &= 120 \\ T &= 24 \end{aligned}$$

Para valores de N_A e N_B superiores a 20, pode-se utilizar o Teorema Central do Limite e aproximar a distribuição de T por uma normal, isto é:

$$\mu = \left(\frac{2N_A N_B}{N} \right) + 1 = 60,7333 \quad \text{Equação 02}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2N_A N_B (2N_A N_B - N)}{N^2 (N - 1)}} = 5,4297 \quad \text{Equação 03}$$

$$Z \text{ (normalização)} = \frac{(T - \mu)}{\sigma} = -6,7652 \quad \text{Equação 04}$$

Portanto, fazendo-se a distribuição normal de Z em ambiente de Excel, e multiplicando o valor obtido por 2, devido à normalização distribuir os valores em duas metades, pôde-se obter o p-valor.

$$\text{p-valor} = 2 * \text{DIST.NORMP.N}(Z) = 9,19277\text{E-}11 \quad \text{Equação 05}$$

Assim sendo, no nível de significância 5%, rejeita-se a condição (hipótese) de não haver tendência, pois o p-valor é menor que 5%.

4.2.2 Teste de sazonalidade - *Kruskal-Wallis*

Segundo esse teste, para verificação da sazonalidade, deve ser montada uma nova série de dados composta por todos os meses, de janeiro a dezembro, onde o valor correspondente a cada mês (R_j) é dado pelo somatório dos valores referentes a este mesmo mês da série temporal de venda de veículos. Exemplo:

$$Jan_{Tot}(R_j) = Jan/05 + Jan/06 + Jan/07 + \dots + Jan/14 \quad \text{Equação 06}$$

Assim, temos que:

Tabela 6 - Série de vendas total, por meses do ano

Mês	R_j	R_j^2
Jan	2.047.835,00	4,19363E+12
Fev	1.926.313,00	3,71068E+12
Mar	2.361.933,00	5,57873E+12
Abr	2.272.443,00	5,164E+12
Mai	2.348.094,00	5,51355E+12
Jun	2.431.137,00	5,91043E+12
Jul	2.570.195,00	6,6059E+12
Ago	2.598.286,00	6,75109E+12
Set	2.472.880,00	6,11514E+12
Out	2.519.994,00	6,35037E+12
Nov	2.437.834,00	5,94303E+12
Dez	2.788.793,00	7,77737E+12

FONTE: o autor

Sendo N a quantidade de dados da série original, S o somatório dos valores de R_j^2 , m a quantidade de meses, n a quantidade de termos somados em cada um dos meses, e k o grau de liberdade, dado pelo número de meses menos um, temos:

$$S = \sum_{j=1}^{N=120} R_j^2 = 6,96139E+13 \quad \text{Equação 07}$$

$$m = 12$$

$$n = 10$$

$$k = m - 1 = 11 \quad \text{Equação 08}$$

A partir destes valores, pode-se determinar então o valor de T, dado por:

$$T = \left(\frac{m}{N(N+1)} \right) * \frac{S}{n} - (3(N+1)) = 5.753.215.003 \quad \text{Equação 09}$$

Assim sendo, no nível de significância 5% ($\alpha = 0,05$) e para um grau de liberdade, $k = 11$, obtemos na tabela de parâmetros de *Kruskal* um valor de 19,7. Desta forma, como $T > 19,7$, rejeita-se a hipótese de não haver sazonalidade.

4.2.3 Modelagem da série de venda de carros

Diante da realização dos testes de *Wald-Wolfowitz* e *Kruskal-Wallis* pôde-se verificar tanto a existência de tendência, quanto de sazonalidade na série temporal, o que possibilita escolher o método mais apropriado para realização das previsões futuras a que este trabalho se propõe.

Devido às circunstâncias políticas de crise vivenciadas pelo país, desde meados de 2014 e que, desde então, vêm se agravando e, sabendo-se que eventos históricos como crises refletem diretamente no modo de consumo da população, com fins de tornar a previsão ainda mais assertiva, decidiu-se incorporar à série temporal, também, os dados de venda de veículos do ano de 2015. Como no ato da coleta de informações para realização deste trabalho, só haviam informações de venda publicadas até julho de 2015, utilizou-se o software Minitab para realizar as previsões dos meses restantes de 2015, conforme método demonstrado a seguir:

Tabela 7 - Valores reais acrescidos a série temporal de venda de veículos

Mês/Ano	Qtde de veículos
jan/15	244.265
fev/15	179.262
mar/15	226.336
abr/15	212.001
mai/15	205.229
jun/15	204.896
jul/15	219.687

FONTE: ANFAVEA (2015)

Por se tratar de uma série temporal com tendência e sazonalidade, como já comprovado, dois são os métodos de previsibilidade aqui analisados: o Método de Winter e o de Médias Móveis. Segundo a literatura, e informações disponíveis no próprio *help* do Minitab[®], o Método de Winter é mais utilizado para termos de previsão de curto ou médio prazo, enquanto que, o de Médias Móveis é mais utilizado para termos de previsão de médio e longo prazo. Apesar disso, ambos os métodos foram analisados.

Com o objetivo de obter termos de previsão mais assertivos até dez/15, para cada projeção realizada, o valor previsto foi adicionado à série de vendas original (janeiro de 2005 a julho de 2015), formando uma nova série, para em seguida, prever o próximo termo. Exemplo: Para previsão do número de veículos vendidos em ago/15, a simulação considerou o período de dados reais de jan/05 a jul/15. No entanto, para previsão do número de veículos vendidos em set/15, a simulação considerou não apenas os dados reais, mas sim, os dados reais mais os já previstos, ou seja, a previsão foi feita com base no período de jan/05 a ago/15.

Todas as simulações foram realizadas em ambiente de Minitab[®]. Na Tabela 8, pode-se verificar as análises realizadas, as constantes e as medidas de precisão (erros). Na Tabela 9 são apresentadas as previsões de agosto a dezembro de 2015, com cada método. Os resultados mostram que o método de Winters multiplicativo (com α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; e δ (sazonalidade) = 0,3) é o método mais apropriado para os dados de vendas de automóveis, devido apresentar os menores MAPE (erro percentual médio absoluto), MAD (desvio médio absoluto) e MSD (desvio médio quadrado). Os Gráficos 3, 4 e 5 apresentam os dados ajustados de cada um dos três métodos utilizados.

Tabela 8 - Análises da série temporal de venda de veículos

Métodos	Constantes/Parâmetros	Erros
Método Multiplicativo de Winters	α (nível) = 0,2; γ (tendência) = 0,2; δ (sazonalidade) = 0,2	MAPE = 12 MAD = 27.788 MSD=1.319.972.852
Método Multiplicativo de Winters	α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3	MAPE = 9 MAD = 22.320 MSD = 975.991.698
Método Aditivo de Winters	α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3	MAPE = 10 MAD = 23.951 MSD=1.100.795.622
Médias Móveis (MA = 3)	-	MAPE = 11 MAD = 26.353 MSD=1.247.674.329

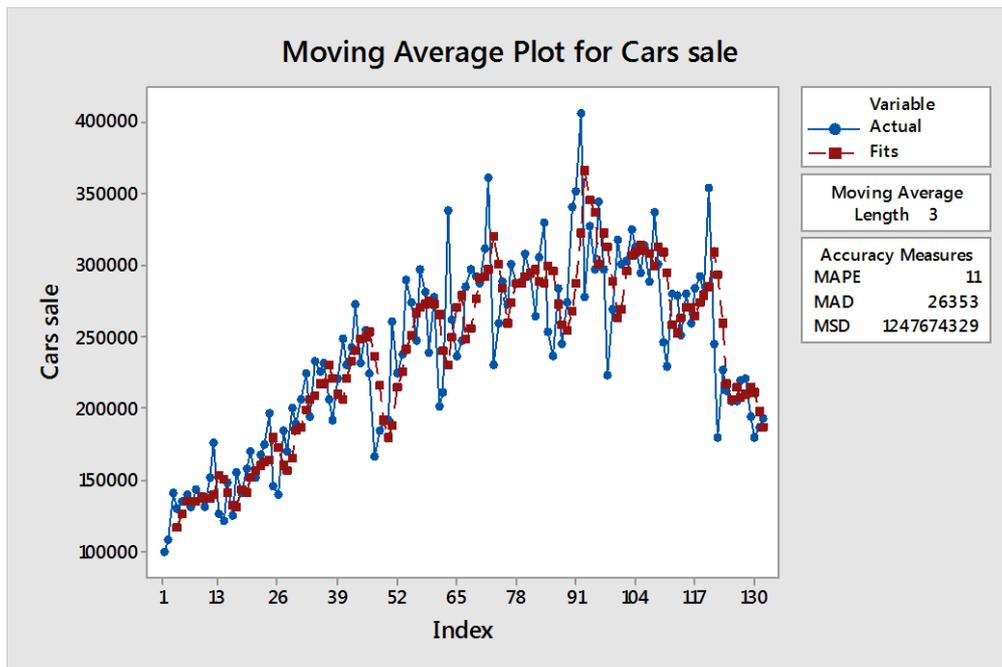
FONTE: o autor

Tabela 9 - Previsão de venda de carros (Agosto – Dezembro/2015)

Métodos	Previsões
Médias Móveis (MA = 3)	Agosto = 183.076; Setembro = 183.076; Outubro = 183.076; Novembro = 183.076; Dezembro = 183.076.
Método Multiplicativo de Winters: $\alpha = 0,6$; $\gamma = 0,4$; $\delta = 0,3$.	Agosto = 145.783; Setembro = 124.575; Outubro = 148.284; Novembro = 140.142; Dezembro = 132.974.
Método Aditivo de Winters	Agosto = 126.081; Setembro = 98.050; Outubro = 144.153; Novembro = 136.103; Dezembro = 119.934.
Método Multiplicativo de Winters $\alpha = 0,2$; $\gamma = 0,2$; $\delta = 0,2$.	Agosto = 219.903; Setembro = 194.086; Outubro = 179.266; Novembro = 186.595; Dezembro = 192.368.

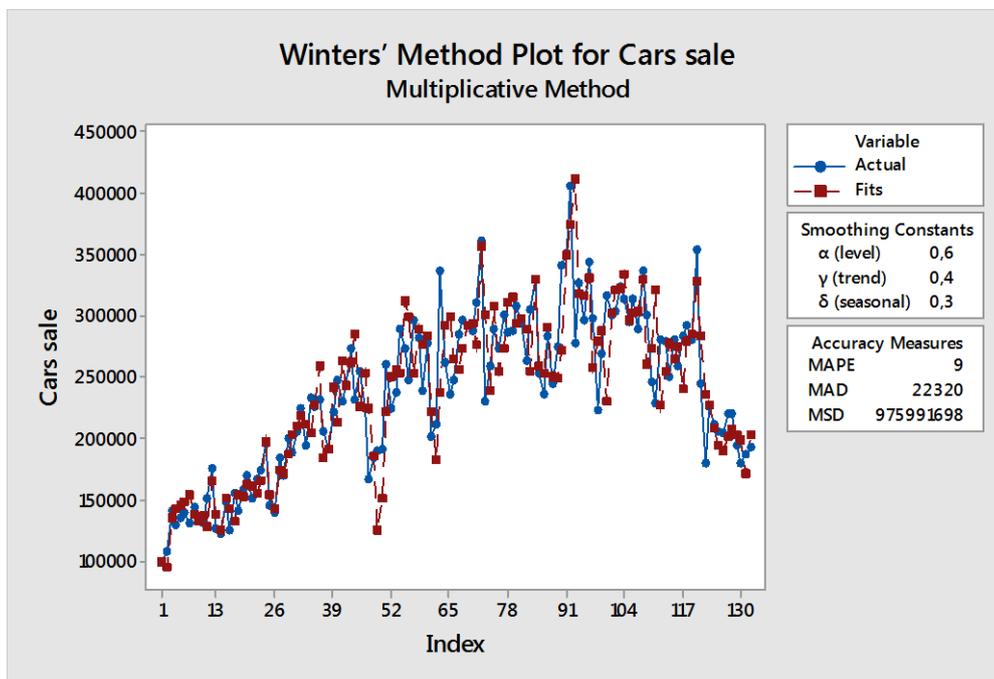
FONTE: o autor

Gráfico 3 - Média Móveis (comprimento = 3): simulação de venda de automóveis



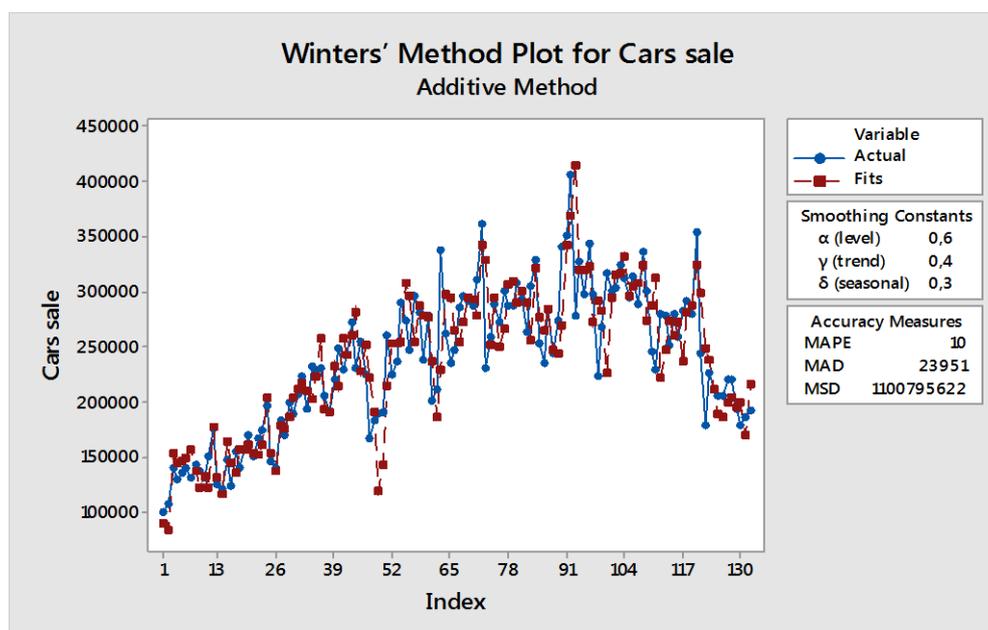
FONTE: o autor

Gráfico 4 - Método de Winters: simulação de venda de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3)



FONTE: o autor

Gráfico 5 - Método de Winters: simulação de venda de automóveis – método aditivo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3)



FONTE: o autor

Como se pode observar, mediante comparação dos erros, o Método de Winter se mostrou de fato mais eficaz para previsões de curto e médio prazo. Sendo assim, os valores gerados por este método foram escolhidos para completar a série temporal de veículos (valores destacados) que será utilizada como base para o estudo em questão, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Série temporal de venda de veículos

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
jan	99.662	125.827	145.405	205.384	189.722	201.709	230.162	252.672	297.189	300.105	244.265
fev	107.873	121.487	139.560	191.155	191.352	211.358	258.813	235.845	222.731	246.138	179.262
mar	140.601	148.227	183.702	220.884	260.929	337.352	288.733	283.789	268.589	229.128	226.336
abr	129.161	124.457	170.017	247.938	224.385	261.877	272.916	244.589	316.983	280.122	212.001
mai	135.065	155.556	200.202	229.956	237.394	235.743	300.529	274.299	300.943	278.409	205.229
jun	139.792	140.872	188.697	242.850	289.788	247.489	286.924	340.619	303.084	251.014	204.896
jul	130.513	157.979	206.270	272.952	273.597	285.224	287.966	351.228	324.297	280.191	219.687
ago	143.345	169.934	223.835	231.053	247.514	296.605	308.035	405.478	313.005	259.491	145.783
set	136.809	151.195	194.071	254.166	296.661	291.436	293.585	277.685	294.417	282.884	124.575
out	130.616	166.795	232.508	224.725	281.279	287.596	263.770	327.031	313.877	291.813	148.284
nov	150.962	174.011	225.789	166.265	238.424	311.407	305.194	297.081	288.547	280.160	140.142
dez	175.441	195.944	231.174	183.861	277.822	361.233	329.204	343.867	336.233	354.024	132.974
SOMA	1.619.840	1.832.284	2.341.230	2.671.189	3.008.867	3.329.029	3.425.831	3.634.183	3.579.895	3.333.479	2.183.434

FONTE: o autor

De posse da série temporal anual, dada pela soma dos veículos vendidos mês a mês, a cada ano, conforme proposto neste trabalho, utilizou-se a mesma metodologia de previsibilidade empregada até o momento para previsões de séries com tendência e sazonalidade, com o objetivo de prever a quantidade de veículos que serão vendidos nos cinco próximos anos. Assim sendo, tanto o método de Winter quanto o de Médias Móveis foram analisados.

Com o objetivo de obter termos de previsão mais assertivos até o ano de 2020, para cada projeção realizada, o valor previsto foi adicionado à série de vendas original (2005 a 2015), formando uma nova série, para em seguida, prever o próximo termo. Exemplo: Para previsão do número de veículos vendidos em 2016, a simulação considerou o período de dados reais de 2005 a 2015. No entanto, para previsão do número de veículos vendidos em 2017, a simulação considerou não apenas os dados reais, mas sim, os dados reais mais os já previstos, ou seja, a previsão foi feita com base no período de 2005 a 2016.

Todas as simulações foram realizadas em ambiente de Minitab[®]. Na Tabela 11 pode-se verificar as análises realizadas, as constantes e as medidas de precisão (erros). Na Tabela 12 são apresentadas as previsões de 2016-2020, com cada método. Os resultados mostram que o método de Médias Móveis é o método mais apropriado para os dados de vendas anuais de veículos, devido apresentar os menores MAPE e MAD. Os Gráficos 6, 7, 8 e 9 apresentam os dados ajustados de cada um dos três métodos utilizados.

Tabela 11- Análises da série temporal de venda anual de veículos

Métodos	Constantes/Parâmetros	Erros
Método Multiplicativo de Winters	α (nível) = 0,2; γ (tendência) = 0,2; δ (sazonalidade) = 0,2	MAPE = 1,24264E1 MAD = 3,60090E5 MSD = 1,60638E11
Método Multiplicativo de Winters	α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3	MAPE = 6,75379E0 MAD = 1,69230E5 MSD = 4,50952E10
Método Aditivo de Winters	α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3	MAPE = 7,34639E0 MAD = 1,66433E5 MSD = 5,02557E10
Médias Móveis (MA = 10)	-	MAPE = 6,35833E0 MAD = 1,38830E5 MSD = 9,63685E10

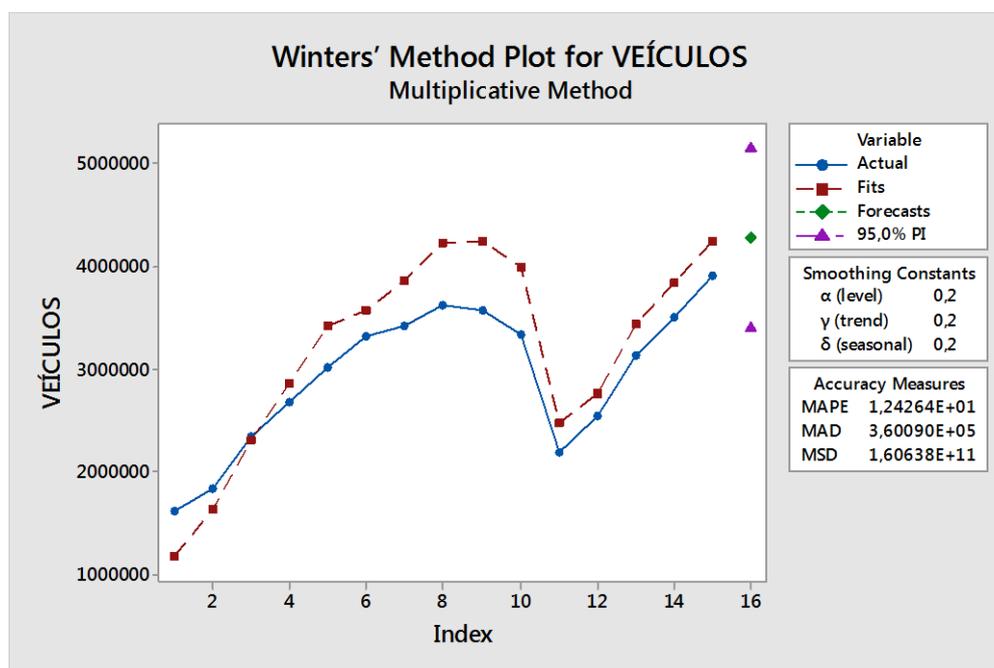
FONTE: o autor

Tabela 12 - Previsão de venda anual de carros (2016 –2020)

Métodos	Previsões
Método Multiplicativo de Winters $\alpha = 0,2$; $\gamma = 0,2$; $\delta = 0,2$.	2016 = 2.542.315; 2017 = 3.139.119; 2018 = 3.515.496; 2019 = 3.909.888; 2020 = 4.280.486
Método Multiplicativo de Winters: $\alpha = 0,6$; $\gamma = 0,4$; $\delta = 0,3$.	2016 = 2.150.020; 2017 = 2.630.396; 2018 = 2.941.806; 2019 = 3.272.675; 2020 = 3.585.351
Método Aditivo de Winters	2016 = 2.737.220; 2017 = 3.170.399; 2018 = 3.520.333; 2019 = 3.904.708; 2020 = 4.291.761
Médias Móveis (MA = 10)	2016 = 2.933.942; 2017 = 3.044.108; 2018 = 3.114.396; 2019 = 3.158.716; 2020 = 3.173.701

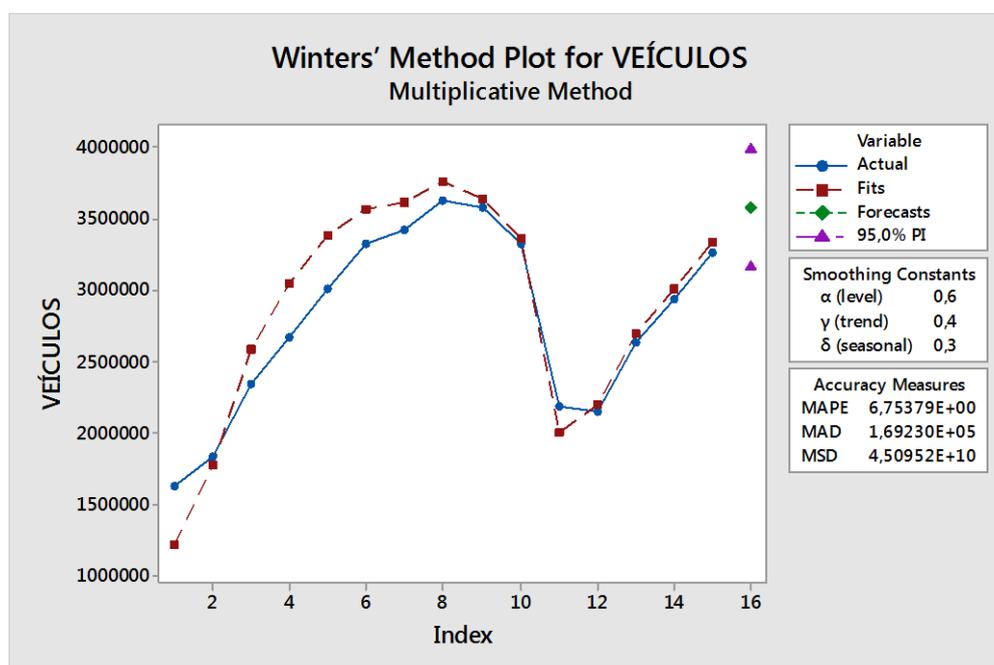
FONTE: o autor

Gráfico 6 - Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,2; γ (tendência) = 0,2; δ (sazonalidade) = 0,2)



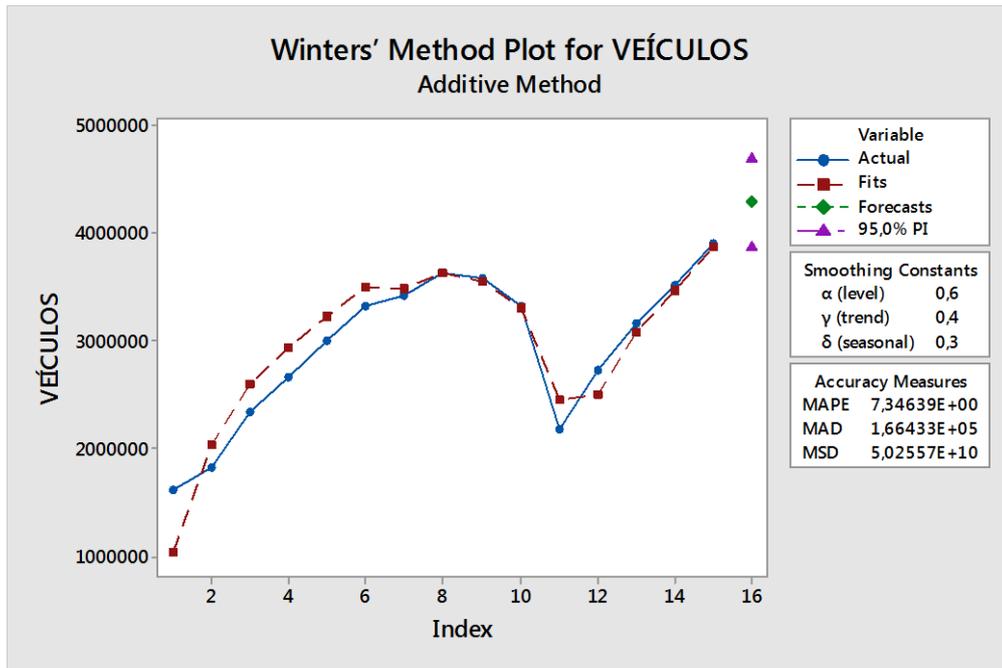
FONTE: o autor

Gráfico 7 - Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método multiplicativo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3)



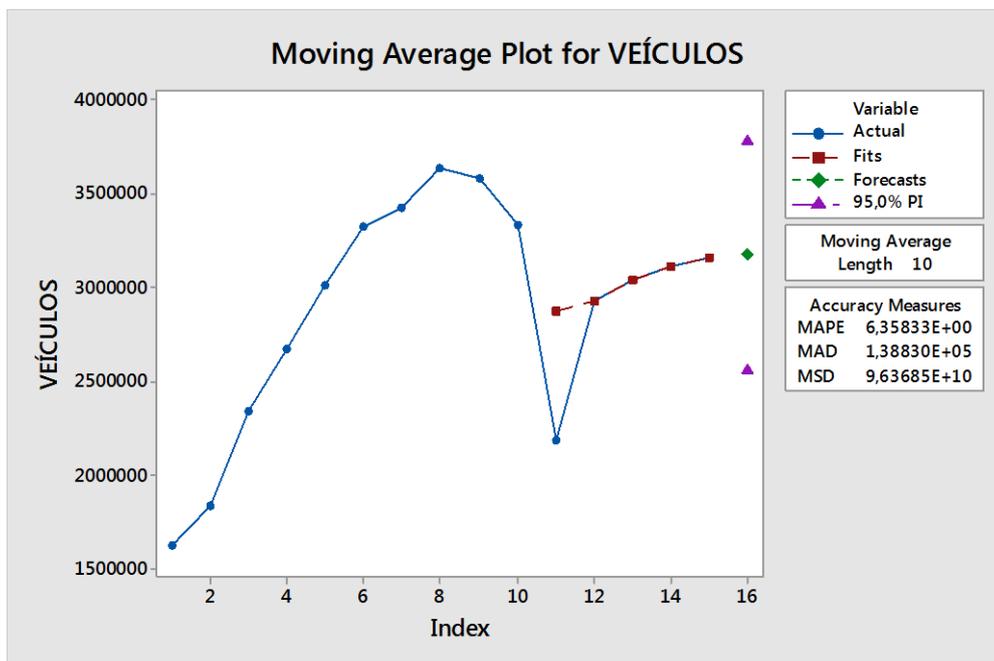
FONTE: o autor

Gráfico 8 - Método de Winters: simulação de venda anual de automóveis – método aditivo (α (nível) = 0,6; γ (tendência) = 0,4; δ (sazonalidade) = 0,3)



FONTE: o autor

Gráfico 9 - Média Móveis (comprimento = 10): simulação de venda anual de automóveis



FONTE: o autor

Tabela 13 - Previsões de venda anual de veículos (2016-2020), utilizando Médias Móveis

Ano	Número de carros
2016	2.933.942
2017	3.044.108
2018	3.114.396
2019	3.158.716
2020	3.173.701

FONTE: o autor

Como é possível observar, mediante comparação dos erros, a simulação utilizando-se Médias Móveis mostrou-se mais assertiva para previsões de médio e longo prazo. Sendo deste método os valores escolhidos para serem utilizados na previsão da geração de sucatas de baterias.

4.3 PREVISÃO DA GERAÇÃO DE SUCATAS DE BATERIAS

Partindo-se do fato de que a vida útil média de uma bateria é de três anos, e do pressuposto de que a vida média de um veículo de passeio é de 10 anos, pode-se, a partir da quantidade de veículos, estimar a quantidade de sucata de baterias que serão geradas ao longo dos próximos cinco anos (2016-2020).

É importante pontuar que a cada veículo produzido, uma bateria é fabricada. E que, depois disso, a cada três anos este mesmo veículo terá sua bateria trocada, ou seja, mais uma bateria será fabricada e será gerada uma sucata. Como a cada ano mais carros entram no mercado, tanto os carros novos, quanto os antigos implicarão na fabricação de mais baterias novas e, conseqüentemente, na geração de mais sucatas, caracterizando assim, um efeito cascata de geração de resíduos.

Desta maneira, para determinação desse efeito cascata e contabilização da sucata que será gerada, mediante o comportamento de consumo da população no que tange a compra de veículos e mediante a vida útil de um acumulador

elétrico, realizou-se a simulação de que trata a Tabela 14, em ambiente de Excel®, onde os valores destacados correspondem à previsão de geração de sucatas de acumuladores.

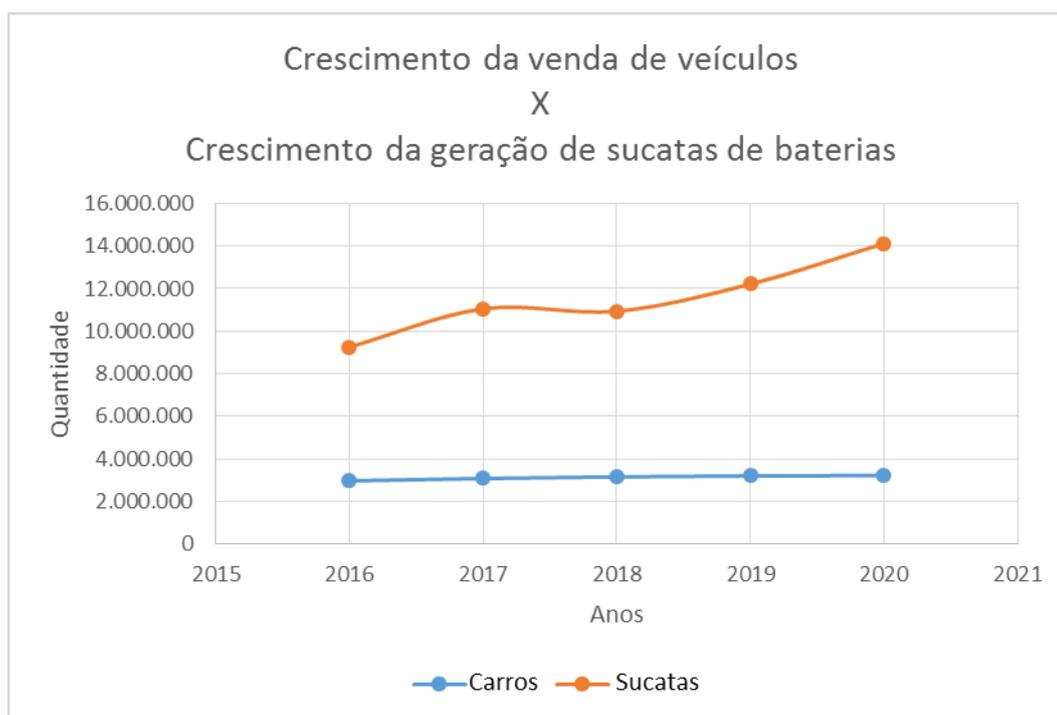
Tabela 14 - Previsão de sucata de baterias

Tempo	0 anos	3 anos	6 anos	9 anos	12 anos	15 anos		
Ano	Baterias Novas / Veículos Novos	Baterias Novas Trocadas	Baterias Novas Total	SUCATAS				
2005	1.619.840	-	-	-	-	-	1.619.840	-
2006	1.832.284	-	-	-	-	-	1.832.284	-
2007	2.341.230	-	-	-	-	-	2.341.230	-
2008	2.671.189	1.619.840	-	-	-	-	4.291.029	-
2009	3.008.867	1.832.284	-	-	-	-	4.841.151	-
2010	3.329.029	2.341.230	-	-	-	-	5.670.259	-
2011	3.425.831	2.671.189	1.619.840	-	-	-	7.716.860	-
2012	3.634.183	3.008.867	1.832.284	-	-	-	8.475.334	-
2013	3.579.895	3.329.029	2.341.230	-	-	-	9.250.154	-
2014	3.333.479	3.425.831	2.671.189	1.619.840	-	-	11.050.339	-
2015	2.463.894	3.634.183	3.008.867	1.832.284	-	-	10.939.228	-
2016	2.933.942	3.579.895	3.329.029	2.341.230	-	-	12.184.096	9.250.154
2017	3.044.108	3.333.479	3.425.831	2.671.189	1.619.840	-	14.094.447	11.050.339
2018	3.114.396	2.463.894	3.634.183	3.008.867	1.832.284	-	14.053.624	10.939.228
2019	3.158.716	2.933.942	3.579.895	3.329.029	2.341.230	-	15.342.812	12.184.096
2020	3.173.701	3.044.108	3.333.479	3.425.831	2.671.189	1.619.840	17.268.148	14.094.447

FONTE: o autor

No Gráfico 10, observa-se o comparativo entre o crescimento da venda de veículos e a geração de sucatas de acumuladores, ao longo dos anos.

Gráfico 10 - Venda de veículos x Geração de sucatas



FONTE: o autor

Assim sendo, pode-se verificar a alta taxa de crescimento da geração de sucatas de baterias.

Como pode ser observado a partir dos resultados da previsão (2016-2020), é crescente o potencial de reciclagem de baterias no Brasil. A reciclagem da sucata de acumuladores elétricos é um negócio particularmente estratégico para o Brasil, haja vista que no país se importa 100% do chumbo refinado primário.

As produções primária e secundária de chumbo, no Brasil, representaram 0,5% e 3,2% da produção mundial em 2006, respectivamente. A produção de chumbo primário vem da mina de Morro Agudo, no município de Paracatu, Minas Gerais, e toda produção é exportada. Como resultado, o Brasil importa 100% do chumbo primário que suas indústrias demandam. A produção secundária é obtida através da reciclagem de materiais utilizados, notadamente as baterias automotivas, em plantas de refino nos estados de Pernambuco, São Paulo e Rio de Janeiro (International Business Publications, 2012).

Chumbo (Pb), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e plástico (polipropileno - PP) são os principais constituintes de uma bateria (Jolly e Rhin, 1994). Eles são responsáveis por cerca de 65%, 28% e 7% da massa total de um acumulador, respectivamente - assumindo uma bateria de 60 Ah (Amperes-hora), que tem uma massa total de, aproximadamente, 14 kg. O chumbo das BCAs é o material mais comumente reciclado, devido ao seu alto valor de mercado e, porque pode ser facilmente refundido, processo este que requer menos energia que o processo de extração primária do metal (Daniel *et al.*, 2003).

O PP proveniente da sucata de baterias também pode ser reciclado e reutilizado para fins diversos (com exceção da indústria alimentícia). E, apesar de Jolly e Rhin (1994) argumentarem que apenas o Pb e o PP podem ser reciclados, atualmente, a solução de ácido sulfúrico é uma das principais possibilidades de material a ser reciclado, além de se configurar como uma das melhores práticas a este respeito - empreendida pelo líder de vendas no Brasil - a solução é neutralizada, e reutilizada como água industrial, aplicada em situações diversas, como: em vasos sanitários e para limpar ruas, por exemplo. No entanto, o desafio atual para a indústria de baterias é a reutilização do H_2SO_4 em novas baterias, como já é feito com o chumbo.

Com o intuito de estimar a quantidade dos três principais componentes da BCA que serão gerados em relação ao volume anual de sucata previsto pelo modelo desenvolvido, foram realizadas algumas análises. De acordo com Jolly e Rhin (1994), o principal componente é o chumbo – correspondendo a cerca de 9 kg de uma bateria de, aproximadamente, 14 kg, podendo sofrer variação, dependendo do fabricante. Assim, a fim de estimar a quantidade de chumbo presente nas baterias fabricadas no Brasil, considerou-se aqui também as especificações técnicas do modelo líder de vendas no país, uma bateria de 60 Ah, com massa total de 14 kg. Dada a relação de 150 g de chumbo por cada Ah (Pavlov, 2011), ratificou-se a média de 9 kg de chumbo para cada 14 kg de bateria.

No que diz respeito aos outros dois componentes de um acumulador (PP e H_2SO_4) e, usando as especificações da mesma bateria de 60 Ah, há aproximadamente, 1 kg de polipropileno e 4 L de solução de ácido sulfúrico para cada 14 kg por bateria. Por conseguinte, de acordo com o modelo, a reciclagem

de sucatas de baterias produz anualmente as quantidades de chumbo, PP e solução de ácido sulfúrico mostrados na Tabela 15.

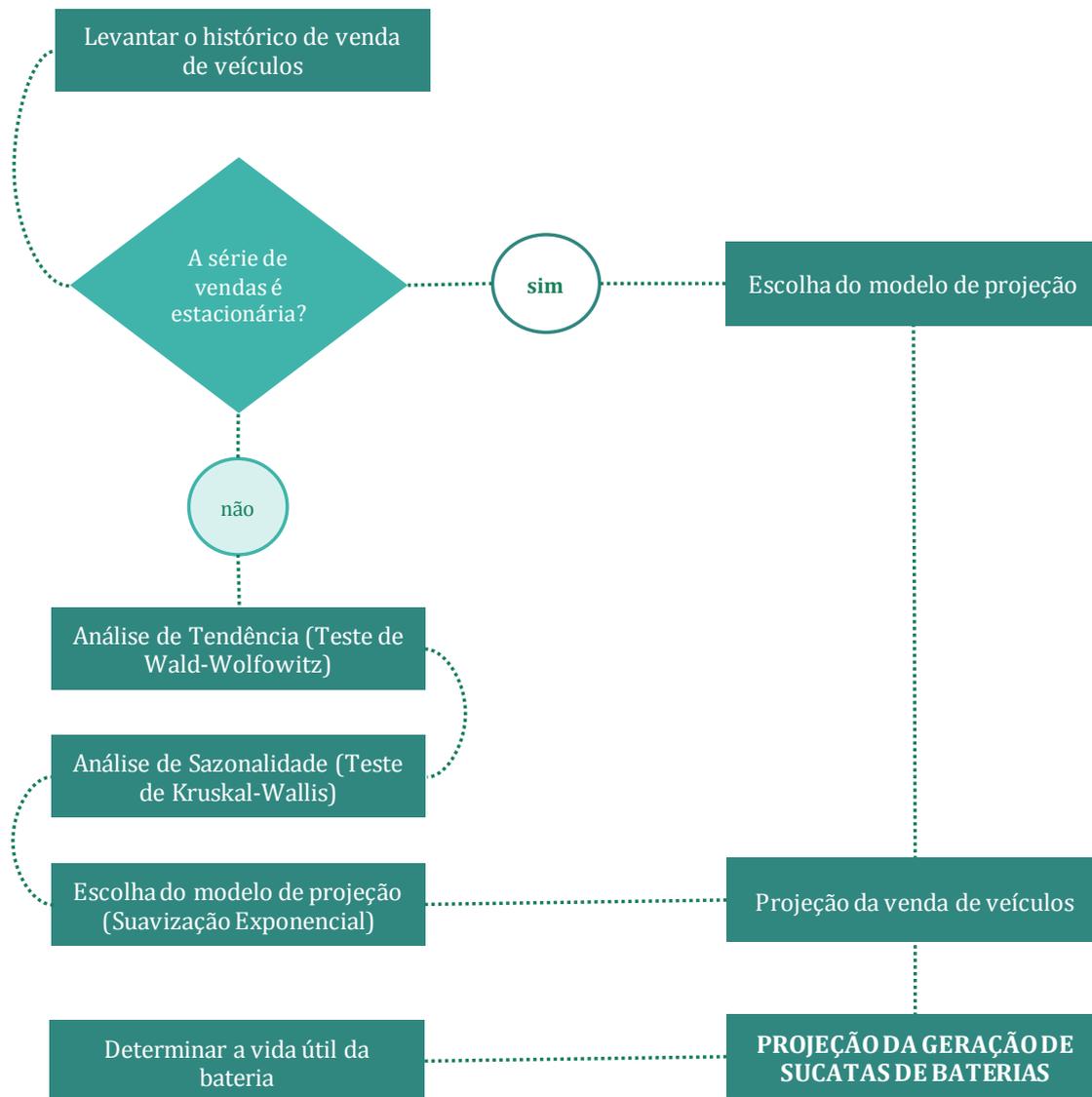
Tabela 15 – Estimativa dos montantes anuais de chumbo, polipropileno e solução de ácido sulfúrico gerados com base nas previsões anuais de sucatas de baterias

Ano	Sucatas BCAs	Chumbo (Pb) em toneladas	Plástico (PP) em toneladas	Sol. de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) em litros
2016	9.250.154	83.251	9.250	37.000.616
2017	11.050.339	99.453	11.050	44.201.356
2018	10.939.228	98.453	10.939	43.756.912
2019	12.184.096	109.657	12.184	48.736.384
2020	14.094.447	126.850	14.094	56.377.788

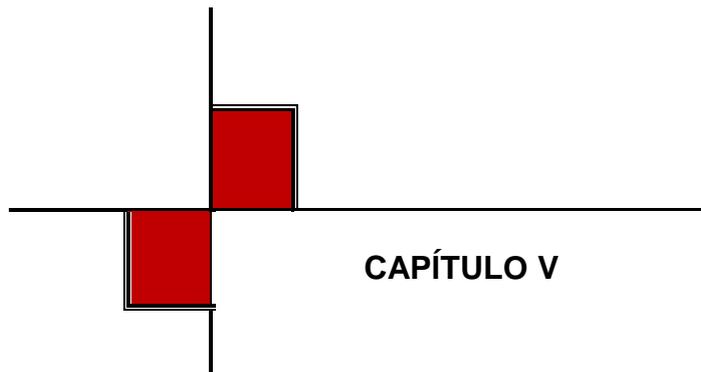
FONTE: o autor

Independentemente de todos os benefícios, recuperar o chumbo pode representar um risco, principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, devido à falta de controle das usinas de reciclagem, que são geralmente pequenas e clandestinas. No Brasil, há uma crescente demanda por reciclagem de determinados resíduos eletroeletrônicos, cuja principal preocupação reside na falta de cuidados ambientais e de segurança do trabalho, no processo de reciclagem. Portanto, é importante e necessário que o Poder Público esteja ciente da oferta anual de chumbo e que, a partir desta informação, estabeleça uma política de fiscalização de plantas de reciclagem clandestinas, evitando eventuais danos ao meio ambiente e a saúde humana, haja vista que, como já relatado anteriormente, a contaminação por chumbo pode provocar vários efeitos adversos à saúde, incluindo danos ao sistema nervoso, rins, sistema cardiovascular, sistema homeopático e sistema reprodutor (Gottesfeld e Pokhrel, 2011).

Figura 3: Fluxograma do modelo matemático de projeção de sucatas



FONTE: o autor



5 CONCLUSÃO

O Planejamento é um passo importante dentro do conceito de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e requer um diagnóstico confiável da quantidade e tipo de resíduos gerados. Na verdade, de acordo com Navarro-Esbrí *et al.* (2002), o sucesso do planejamento e operação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos (GRS) depende do conhecimento do processo de geração desses resíduos, bem como, de previsões minimamente precisas sobre as quantidades que serão produzidas no futuro.

A quantificação de resíduos especiais, tais como de REEs, é uma atividade emergente no Brasil. Dessa forma, este trabalho oferece um modelo de série temporal para projetar a geração de sucatas de baterias, usando uma combinação de vendas de automóveis e vida útil da bateria.

Com base nas estatísticas de ajuste e os coeficientes de determinação, os resultados indicam que modelos de séries temporais são significativos e úteis para a previsão de resíduos, dentre os quais, as sucatas de baterias de chumbo-ácido. Notadamente, dentre os métodos analisados, foram escolhidos os métodos Multiplicativo de *Winters* e de Médias Móveis para as projeções mensais, e anuais, respectivamente, dados os menores erros apresentados por estes métodos nas suas respectivas projeções.

A partir das análises realizadas, pode-se constatar que, nos últimos dez anos, entraram mais de 28 milhões de veículos de passeio novos, no mercado. E,

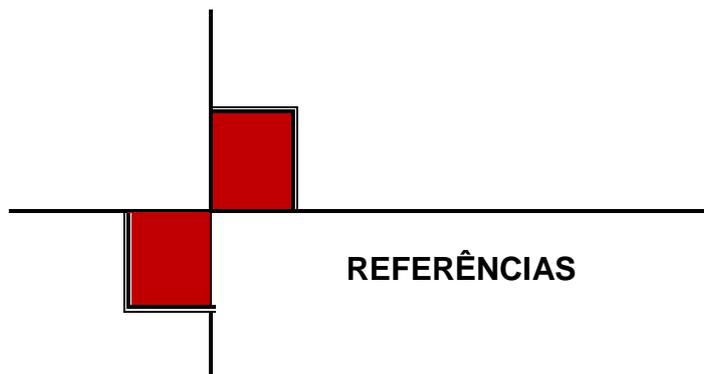
considerando a obtenção da vida útil média de 3 anos para uma bateria de chumbo-ácido, entraram no mercado mais de 57 milhões de baterias novas.

Mais que oferecer a previsão da quantidade anual de sucatas de baterias geradas entre os anos de 2016 e 2020 e, demonstrar que o número de vendas de veículos cresce a uma taxa relativamente baixa, em comparação com o crescimento da geração de sucatas, comprovando o efeito cascata na produção destes resíduos, como contribuição desta pesquisa, tem-se o modelo de série temporal produzido. Tal modelo pode ser utilizado para estimar dados de geração de sucatas no Brasil, ou em qualquer outro país, podendo inclusive, haver novo ajuste de parâmetros para aproximar ainda mais as previsões dos dados reais, ou até mesmo, ser utilizado para fazer outras futuras projeções.

Ainda com base nessas previsões, também é possível prever a quantidade de chumbo, polipropileno e solução de ácido sulfúrico que podem ser recuperados e reutilizados na cadeia produtiva, e/ou prever os impactos ambientais decorrentes do lançamento inadequado desses constituintes no ambiente.

A previsão mais próxima da realidade futura possibilita a implementação de programas de logística reversa para as indústrias de baterias, de reciclagem de sucatas e para o governo, que podem fazer uso dessas informações para planejar, com mais segurança, políticas e ações de tratamento adequado das sucatas de baterias que têm alto valor agregado. Com o devido aproveitamento, tais sucatas podem deixar de ser um problema ambiental para constituir-se matéria prima para a produção de produtos, gerando emprego e renda e contribuindo com as diretrizes fundamentadoras da PNRS.

Outra contribuição deste trabalho pode ser vista também para academia. Os dados construídos, a fundamentação teórica, a metodologia, os materiais, os métodos e as análises dos dados podem inspirar outros estudos que aprofundem essa temática. Podem contribuir, também, para o direcionamento de novas e futuras pesquisas que tratem da estimativa de outros tipos de lixo eletroeletrônico no Brasil, tais como as sucatas de baterias de íon-lítio, provenientes de veículos elétricos, haja vista o contrassenso de que, apesar de os veículos elétricos se mostrarem como alternativa de transporte não poluidor, para suas baterias, ainda não existe um processo consolidado de logística reversa, nem de reciclagem.



REFERÊNCIAS

ABDI. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**, 2012. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reserva%20de%20residuos_.pdf>. Acesso em: 06 de junho de 2015.

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

ABNT. **NBR ISO 16.156**, 2013. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/curs.aspx?ID=150>. Acesso em: 20 de abril de 2016.

ARAÚJO, M. G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C. F.; BILITEWSKI, B. **A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil**. Elsevier Ltd, 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo: ANFAVEA, 2014.

ATHANASIOS, C. K.; KONSTANTINOS, A.; ILIAS, P. T.; ANASTASIOS, S. **Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches**. Greece: Waste Management Journal, 2003.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Brasília, DF: [s.n], 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 17 de setembro de 2014.

CABRAL NETO, J. P.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. **A time series model for estimating the generation of lead acid battery scrap**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Clean Technology Environmental Policy, 1-13, 2016.

CHANG, NB.; LIN, Y. T. **An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling**. 165-186, 1997.

CHANG, N-B.; PAN, Y. C.; HUANG, S.D. **Time series forecasting of solid waste generation**. J. Resource Management Technology. 21 (1): 1–10, 1993.

CHEN, HW.; CHANG, NB. **Prediction of solid waste generation via grey fuzzy dynamic modeling**, Resource Conservation and Recycling, 29:1–18.

CHEN, L.; XU, Z.; LIU, M.; HUANG, Y.; FAN, R.; SU, Y.; HU, G.; PENG, X. **Lead exposure assessment from study near a lead-acid battery factory in China**. Science of the Total Environment, 429: 191-198, 2012.

CHUNG, S. S.; LAU, K. Y.; ZHANG, C. **Generation and control measures for e-waste in Hong Kong**. Hong Kong: Elsevier, 2010.

CIWMB. **Household Hazardous Waste**. Publication number 612-00-002, 2000. Disponível em: www.ciwmb.ca.gov/Publications/. Acesso em: 14 de outubro de 2015.

CONAMA. **Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências**. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>. Acesso em: 22 de setembro de 2015.

CONVENÇÃO DE BASILEIA. **The Convention Overview**, 1989. Disponível em: <http://www.basel.int/TheConvention/Overview/tabid/1271/Default.aspx>. Acesso em: 27 de janeiro de 2016.

CSPower. **Baterias de Chumbo-Ácido São Recicláveis?**, 2009. Disponível em: <http://pt.cspowerbattery.com/industry-155457>. Acesso em: 10 de março de 2016.

DANIEL, S. E.; PAPPIS, C. P.; VOUTSINAS, T. G. **Applying life cycle inventory to reverse supply chains: a case study of lead recovery from batteries**. Resource Conservation and Recycling. 37: 251-281, 2003.

DAVIS, S. C.; DIEGEL, S. W.; BOUNDY, R. G. **Transportation Energy Data Book**, edition 34, Center for Transportation Analysis Energy and Transportation Science Division, USA, 2015.

DWIVEDY, M.; MITTAL, R. K. **Estimation of future outflows of e-waste in India**. Waste Management, 30, 3, 483–491, 2010.

ETBC. **Electronics Take Back Coalition**. USA: 2014. Disponível em: <http://www.electronicstakeback.com/>. Acesso em: 20 de setembro de 2014.

EWC. **Ewaste Center** – Free Electronic Waste Pick-Up. Califórnia: 2014. Disponível em: <http://www.ewastecenter.com/>. Acesso em: 20 de setembro de 2014.

FIORE, S.; RUFFINO, B.; ZANETTI, M. C. **Automobile Shredder Residues in Italy**: Characterization and valorization opportunities. *Waste Management*. 32: 1548-1559, 2012.

FULGÊNCIO, P. C. **Glossário** – Vade Mecum. Rio de Janeiro: Mauad editora, 2007.

FUNAZAKI, A.; TANEDA, K.; TAHARA, K.; INABA, A. **Automobile life cycle assessment issues at end-of-life and recycling**. *Journal of Society of Automotive Engineers Review* 24, 381-386, 2003.

GOTTESFELD, P.; POKHRE, A. K. **Review**: Lead Exposure in Battery Manufacturing and Recycling in Developing Countries and Among Children in Nearby Communities. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8:9, 520-532, 2011.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual** – PIA, 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/anos_antigos_2010.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/anos_antigos/anos_antigos_2010.shtm). Acesso em: 22 de setembro de 2015.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**, 2008. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000284.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2015.

INMETRO. **Portaria n.º 299, de 14 de junho de 2012**. Rio de Janeiro, RJ: MDIC, 2012.

INTERNATIONAL BUSINESS PUBLICATIONS. **Mineral**, Mining sector investment and business guide, Volume 1, Strategic information, metals and mineral production, Washington DC, USA, 2012.

JABBOUR, A. B.; JABBOUR, C. J.; SARKIS, J.; GOVINDAN, K. **Brazil's new national policy on solid waste**: challenges and opportunities. *Clean Technology Environmental Policy*, 16:7–9, 2014.

JOLLY, R.; RHIN, C. **The recycling of lead-acid batteries**: production of lead and polypropylene, *Resource Conservation and Recycling*, 1994.

LEUNG, A.; CAI, Z. W.; WONG, M. H. **Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu**, southeast China, *J Mater Cycles Waste Management*, 8, 21–33, 2006.

LIU, X.B.; TANAKA, M.; MATSUI, Y. **Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste**: a case study in Beijing, China. *Waste Management and Research* 24, 434–445, 2006.

MCKENZIE, E. **General exponential smoothing and the equivalent ARMA process**, *J Forecast*, 3, 3, 333-344, 1984.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de séries temporais**, 2ª edição, Blucher, São Paulo, 2006.

MOURA. **Catálogo de Baterias** – Aplicações 2015/2016. Recife, PE: 2015.

NAVARRO-ESBRI, J.; DIAMANDOPOULOS, E.; GINESTAR, D. **Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management**, Resource Conservation and Recycling, 35, 3, 201-214, 2002.

PANT, D. **E-waste projection using life-span and population statistics**. Waste Management Laboratory, Department of Environmental Sciences; School of Earth and Environmental Science, Central University of Himachal Pradesh. Dharamshala: Himachal Pradesh, 2013.

PAVLOV, D. **Lead-Acid Batteries: Science and Technology** - A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product, First Edition, Elsevier, 2011.

PINDYCK R. S.; RUBINFELD, D. L. **Econometric models and economic forecasts**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1998.

ROBINSON, B. H. **E-waste: An assessment of global production and environmental impacts**. Elsevier Ltd, 2009.

SINDIPEÇAS. **Frota Circulante**, 2014. Disponível em: <http://www.sindipecas.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frotacirculante#.VqQSffkrLIU>. Acesso em: 05 de abril de 2015.

SIREE. **IV Seminário Internacional Sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos**. Recife: 2014. Disponível em: <http://siree.org/#home>. Acesso em: 27 de março de 2015.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 7a. Ed, 1999.

UNIÃO EUROPEIA, **Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho** – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), 2012. Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:PT:PDF>. Acesso em: 05 de junho de 2015.

VAN DEN BOSSCHE, P.; VERGELS, F.; VAN MIERLO, J.; MATHEYS, J.; VAN AUTENBOER, W.; **Subat**: An assessment of sustainable battery technology. Journal of Power Sources, 162: 913-919, 2006.

VAN DER KUIJP, T.; HUANG, L.; CHERRY, C. **Health hazards of China's lead-acid battery industry**: a review of its market drivers, production processes, and health impacts. Environmental Health, 12:61, 2013.

WATH, SB.; DUTT, PS.; CHAKRABARTI, T. **E-waste scenario in India, its management and implications**. Environmental Monitoring and Assessment, 172(1– 4): 249–262, 2011.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M.; BONI, H. **Global perspective on e-waste**. Environmental Impact Assessment Review, 25, 436–458, 2005.

YANG, J.; LU, B.; XU, C. **WEEE flow and mitigating measures in China**. Waste Management 28, 1589–1597, 2008.

YAFFEE, R. A.; MCGEE, M. **An introduction to time series analysis and forecasting**: With Applications of SAS[®] and SPSS[®] 1st Edition, Academic Press, 2000.

ZANGHELINI, G. M.; CHERUBINI, E.; ORSI, P.; SOARES, S. R. **Waste management life cycle assessment**: the case of a reciprocating air compressor in Brazil, Journal of Cleaner Production, 70, 164-174, 2014.

ZHANG, L.; YUAN, Z.; BI, J. **Predicting future quantities of obsolete household appliances in Nanjing by a stock-based model**, Resource Conservation and Recycling, 55, 1087–1094, 2011.